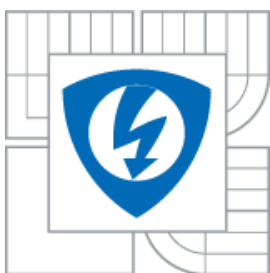




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

PŘENOS INFORMACÍ PO SÍTI ETHERNET

DATA TRANSFER VIA ETHERNET

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. MILOŠ KUTÍLEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ SEKORA

BRNO 2013



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Biomedicínské a ekologické inženýrství

Student: Bc. Miloš Kutílek

ID: 78190

Ročník: 2.

Akademický rok: 2012/2013

NÁZEV TÉMATU:

Přenos informací po síti Ethernet

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1) Proveďte literární rešerši a prostudujte možnosti datového přenosu po síti Ethernet. 2) Vyberte vhodný modul a vhodný mikrokontrolér pro realizaci přenosu informací po síti Ethernet. 3) Proveďte systémový návrh zařízení postaveného na vybraném modulu a mikrokontroléru. Navrhněte blokové schéma zapojení, elektrické schéma zapojení a vytvořte rozpisku součástek. 4) Sestavte program pro modul a mikrokontrolér sloužící k přenosu teploty. 5) Realizujte datový přenos. Výsledky vyhodnoťte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ENC28J60 Stand-Alone Ethernet Controller with SPI Interface [pdf]. Dostupný z
<<http://www.microchip.com/>>

[2] KABELKOVÁ, A., DOSTÁLEK, L. Velký průvodce protokoly TCP/IP a systémem DNS. Computer Press, 2008. 488 s.

Termín zadání: 11.2.2013

Termín odevzdání: 24.5.2013

Vedoucí práce: Ing. Jiří Sekora

Konzultanti semestrální práce:

Prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor semestrální práce nesmí při vytváření semestrální práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá přenosem informací po síti Ethernet. V této práci byl vybrán vhodný mikrokontrolér a komunikační modul, který zajišťuje přenos dat z Ethernetu na SPI sběrnici, dále bylo zvoleno optimální digitální teplotní čidlo DS1820. Teoreticky popisuje model TCP/IP a síť typu Ethernet. V práci je vytvořeno blokové schéma zapojení, dále bylo vytvořeno elektrické schéma zapojení a deska plošných spojů. V prostředí BascomAVR je naprogramován program, který slouží pro přenos informací z mikrokontroléru přes Ethernet na webové stránky.

Klíčová slova

Ethernet, TCP/IP model, mikrokontrolér, Power over Ethernet.

Abstract

This thesis deals with the transmission of information over the Ethernet network. In this work a suitable microcontroller and a communication module were selected. The Module provides data transfer from Ethernet to SPI bus. Furthermore an optimal digital temperature sensor DS1820 was chosen. Theoretically it describes the model TCP / IP and the Ethernet type network . In this thesis a block circuit diagram is created, further an electrical wiring diagram and a printed circuit board were constructed. In the programming environment BascomAVR a program is compiled, which is used to transfer information from the microcontroller via Ethernet to a website.

Keywords

Ethernet, TCP/IP model, microcontroller, Power over Ethernet.

KUTÍLEK, M. *Přenos informací po síti Ethernet*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2013. 53 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Jiří Sekora.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Přenos informací po síti Ethernet* vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Poděkování

Děkuji mému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Sekorovi za velkou pomoc při vytváření této diplomové práce, jednak po stránce odborné, ale také lidské, protože mi vždy poskytnul konzultace. Dále bych chtěl poděkovat všem lidem, kteří mi vytvářeli prostředí pro vytvoření této diplomové práce.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

Obsah

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK.....	7
ÚVOD.....	8
1 ETHERNET	9
1.1 ETHERNETOVÉ RÁMCE	9
1.2 PŘENOSOVÁ MÉDIA ETHERNETU	10
2 MODEL PROTOKOLU TCP/IP	13
2.1 PROTOKOL TCP (TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL)	13
2.1.1 <i>Formát segmentu TCP</i>	14
2.1.2 <i>Navázání spojení v TCP</i>	16
2.1.3 <i>Ukončení spojení v protokolu TCP</i>	17
2.2 PROTOKOL UDP (USER DATAGRAM PROTOCOL)	17
3 VÝBĚR HARDWARU	19
3.1 MIKROKONTROLÉR	19
3.2 ETHERNETOVÝ KOMUNIKÁTOR	22
3.3 PoE (POWER OVER ETHERNET)	23
3.3.1 <i>Zapojení Power over Ethernet</i>	23
3.3.2 <i>Komunikace mezi zařízeními</i>	25
4 BLOKOVÉ SCHÉMA ZAŘÍZENÍ.....	29
4.1 SNÍMAČ TEPLoty	30
4.2 MIKROKONTROLÉR	33
4.3 NAPÁJENÍ.....	34
4.4 PoE	35
4.5 ENC	35
4.6 NÁVRH DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ.....	36
5 PROGRAMOVÁ ČÁST.....	37
5.1 REALIZACE PŘENOSU	40
ZÁVĚR	42
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	43
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK.....	45
SEZNAM PŘÍLOH.....	46

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obrázek 1: Rámec Ethernetu II	10
Obrázek 2: Model protokolu TCP/IP	13
Obrázek 3: Segment protokolu TCP	15
Obrázek 4: Navázání spojení v protokolu TCP	16
Obrázek 5: Ukončení spojení v protokolu TCP	17
Obrázek 6: Datagram UDP	18
Obrázek 7: Blokové schéma mikrokontroléru Atmega32 16PU	21
Obrázek 8: Blokové schéma ENC28J60	22
Obrázek 9: Schéma zařízení napájeného zařízení k aktivnímu prvku bez interní PSE ..	24
Obrázek 10: Schéma zapojení napájeného zařízení k aktivnímu prvku s interní PSE ...	25
Obrázek 11: Blokové Zapojení PD	28
Obrázek 12: Navrhnuté blokové schéma zapojení	29
Obrázek 13: Teplotní čidlo DS1820	30
Obrázek 14: Blokové schéma snímače teploty DS1820	31
Obrázek 15: Průběhy na sběrnici 1-WIRE	32
Obrázek 16: Mikrokontrolér s resetovacím tlačítkem	33
Obrázek 17: Závislost výstupního napětí na teplotě měniče LM2574HVM-5.0	34
Obrázek 18: Schéma zapojení DC/DC měničů	34
Obrázek 19: Zapojení Powered Device	35
Obrázek 20: Zapojení komunikátoru ENC28J60 s konektorem RJ-45	36
Obrázek 21: Vývojový diagram vytvořeného programu	38
Obrázek 22: Vývojový kit AVR EvB 4.3	40
Obrázek 23: Webová stránka pro zobrazení teploty	41

Seznam tabulek

Tabulka 1: Popis vrstev modelu TCP/IP	14
Tabulka 2: Napětí PSE a PD pro jednotlivé režimy činnosti	26
Tabulka 3: Výkony, příkony a identifikační proudy pro jednotlivé výkonové třídy	27

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá přenosem informací po síti Ethernet. Síť byla zvolena pro svoji jednoduchost, velkou dostupnost a také velkou kompatibilitu s jednotlivými síťovými zařízeními od různých výrobců. Informace je uložena v mikrokotroléru. Pomocí vytvořených webových stránek a ethernetového modulu ENC28J60 je možné se na daný mikrokontrolér připojit. K tomuto mikrokontroléru se dají připojit digitální teplotní čidla. Tyto čidla se připojují k portu D. Port D je digitální vstup. Teplotní digitální senzor DS1820 komunikuje přes 1-Wire rozhraní, které je výhodné, protože komunikace probíhá po jednom vodiči. Mikrokontrolér se napájí pomocí PoE neboli Power over Ethernet. Jiné napájení ethernetového modulu a mikrokontroléru již není potřeba, což je výhodné nejen z hlediska snadné obsluhy, ale také možné přemístitelnosti.

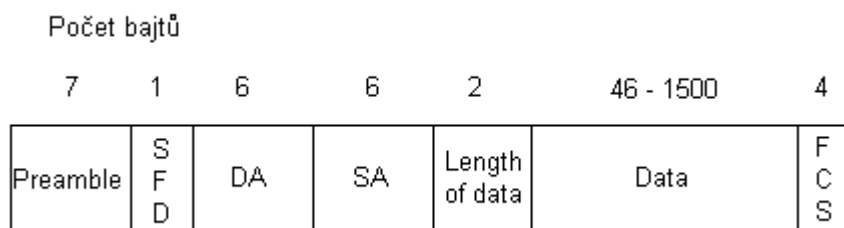
1 Ethernet

V současné době je Ethernet nejúspěšnější síťovou technologií. Ethernetová síť je standardizována dle normy IEEE 802.3. Byl vyvinut firmou Xerox, která v roce 1973 začala vyvíjet počítačovou síť se sběrníkovou topologií. První Ethernet pracoval s přenosovou rychlostí 3 Mb/s a sloužil pro vzájemné propojení počítačů Alto firmy Xerox v jejím výzkumném středisku PARC. Tyto počítače se pro komerční účely nevyužívaly, avšak v pozdější době se z nich vyvinuly počítače Xerox Star a také na ně navázaly počítače značky Macintosh. [1]

Významným rysem Ethernetu je jeho přístupová metoda. Jedná se o metodu, která řeší přístup uzlů k přenosovému médium, které má sdílený charakter a neumožňuje, aby vysílalo současně více uzlů. Tato metoda se označuje zkratkou CSMA/CD a skrývá v sobě tři základní principy, na kterých je založena. CS neboli Carrier Sense vyjadřuje to, že pokud chce některý uzel vysílat, nejprve poslouchá, zda nevysílá někdo jiný. Snaží se tedy detekovat signál (tzv. nosnou) pocházející od vysílání jiného uzlu. Pokud uzel zjistí, že nikdo zrovna nevysílá, může začít vysílat sám. MA (Multiple Access) umožňuje tzv. vícenásobný přístup, který znamená nejen současné fyzické připojení uzlů na jedno společné přenosové médium, ale také možnost současného příjmu více uzly, dokonce i možnost současného vysílání více uzly. Poslední dvě písmena CD neboli Collision Detect znamenají, že každý uzel, který začal vysílat, může případnou kolizi rozpoznat a následně si odvodit, že nevysílá sám. Pravidlo je takové, že každý uzel, který detekuje kolizi, se na určitou dobu odmlčí. Teprve pak může znovu usilovat o svoje vysílání. Pokud by se ovšem všechny uzly, zúčastněné na kolizi odmlčely na stejně dlouhou dobu, došlo by po uplynutí této doby k nové kolizi. Každý uzel, který se opakovaně dostane do kolize, si zdvojnásobí interval. Z tohoto intervalu si náhodně volí délku svého odmlčení. [2]

1.1 Ethernetové rámce

Jedná se o spojování bitů do bajtů a bajtů do rámců na linkové vrstvě. Rámce následně slouží v linkové vrstvě k zapouzdření paketů, předaných ze síťové vrstvy k odvysílání na určitý typ média. Ethernetové stanice si navzájem předávají datové rámce pomocí skupiny bitů, označených jako formát rámců MAC. Ten díky kontrolnímu součtu CRC zabezpečuje detekci chyb, avšak nezajišťuje jejich opravu. [3] Struktura rámce v síti typu Ethernet II je znázorněna na obrázku 1.



Obrázek 1: Rámec Ethernetu II (upraveno dle 3)

- **Preamble** – střídavé nuly a jedničky definují hodinový signál o 5 MHz na začátku každého rámce a pomocí kterých může přijímající zařízení přijmout příchozí bitový proud.
- **SFD (Start Frame Delimiter)** – oddělovač začátku rámce. Preamble má sedm bajtů a osmý bajt je SFD, jenž slouží k synchronizaci. Jeho hodnota je 10101011, díky tomu se podle poslední dvojice jedniček může příjemce synchronizovat a detekovat tak začátek dat i v případě, že začne naslouchat uprostřed.
- **Destination Address (DA)** – cílová adresa. Jedná se o 48bitovou hodnotu, ve které se jako první vysílá nejméně významný bit (LSB). Podle této adresy přijímající stanice určí, zda je příchozí paket adresován určitému uzlu. Cílovou adresou může být individuální adresa jednoho uzlu, všesměrová či vícesměrová adresa MAC.
- **Source Address (SA)** – zdrojová adresa. Je to 48bitová adresa MAC identifikující vysílající zařízení, v níž se jako první vysílá LSB bit. Všemřerové a vícesměrové adresy jsou v tomto poli neplatné.
- **Typ** – v síti typu Ethernet II rámec v poli typu (Type) identifikuje protokol síťové vrstvy.
- **Data** – paket zaslaný do linkové vrstvy síťovou vrstvou, jehož velikost se může pohybovat v rozmezí od 64 do 1500 bajtů.
- **Frame Check Sequence (FCS)** – kontrolní součet rámce. Poslední pole rámce, do kterého se ukládá hodnota CRC. [3]

1.2 Přenosová média Ethernetu

Instituce, která vytváří normy pro specifikace fyzické vrstvy pro síť typu Ethernet, se jmenuje Electronic Industries Association a novější Telecommunications Industry Alliance (EIA/TIA). Tato organizace určuje pro síť Ethernet konektor RJ (registre jack) s pořadím zapojení 4-5 na kabelu s nestíněnou kroucenou dvojlinkou (UTP), tedy RJ-45. Každý typ ethernetového kabelu, určený ve specifikacích EIA/TIA, má dán svůj přesný útlum, který je definován jako ztráta síly signálu při šíření po délce kabelu

a měří se v decibelech (dB). Fyzické kabely, které využívají firmy nebo domácí sítě, se dělí do několika kategorií. Do vyšší kategorie jsou řazeny kvalitnější kabely s nižším útlumem. Kabel kategorie 5 je například lepší než kabel kategorie 3, jelikož má více struktur na jednotku délky, a tudíž menší přeslechy. [3]

Ethernet 10Mb/s

Definuje se standardem IEEE 802.3, používá kódování Manchester $\pm 0,85$ V, a má přenosovou rychlost 10 Mb/s.

- **10Base2** – technologie nazývaná thinnet (tenká síť) s délkou do 185 metrů a obsluhou na jediném segmentu až 30 stanic. Používá fyzickou a logickou sběrnici s konektory AUI. Číslice 10 značí rychlost 10 Mb/s. Base je základní pásmo, což je metoda vysílání signálů při komunikaci v síti a 2 vyjadřuje délku necelých 200 metrů. Ethernetové karty typu 10Base2 se připojují k síti pomocí konektorů BNC (British Naval Connector) a T-konektorů.
- **10Base5** – délka kabelu do 500 metrů. Je také nazývaná thicknet (silná síť) a používá fyzickou a logickou sběrnici s konektory AUI. Jestliže zařadíme opakovače do sítě, může mít délku až 2 500 metrů a ve všech segmentech může být připojeno až 1 024 uživatelů.
- **10BaseT** – síť používající k propojení jednotlivých prvků fyzický kabel UTP kategorie 3. V této síti musí být každé zařízení připojeno k rozbočovači nebo prepínači, přičemž na jednom segmentu nebo kabelu UTP může být jen jeden hostitel. Používají se konektory RJ-45.

Ehternet 100Mbit/s

Rozhraní AUI neumí s ohledem na vysoké frekvence podporovat Ethernet o rychlosti 100 Mbit/s, a proto bylo vytvořeno nové rozhraní MII (Media Independent Interface), které pracuje se 4 bity.

- **100BaseTX** – nestíněná kroucená dvojlinka (UTP) EIA/TIA kategorie 5, 6 nebo 7 UTP se dvěma páry. Jeden uživatel na segment, délka maximálně 100 metrů a využívá konektor RJ-45.
- **100BaseFX** – využívá optický kabel s vícevidovým vláknem o tloušťce 62,5/125 mikronů. Využívá konektor ST nebo SC, což jsou konektory rozhraní k médiu.

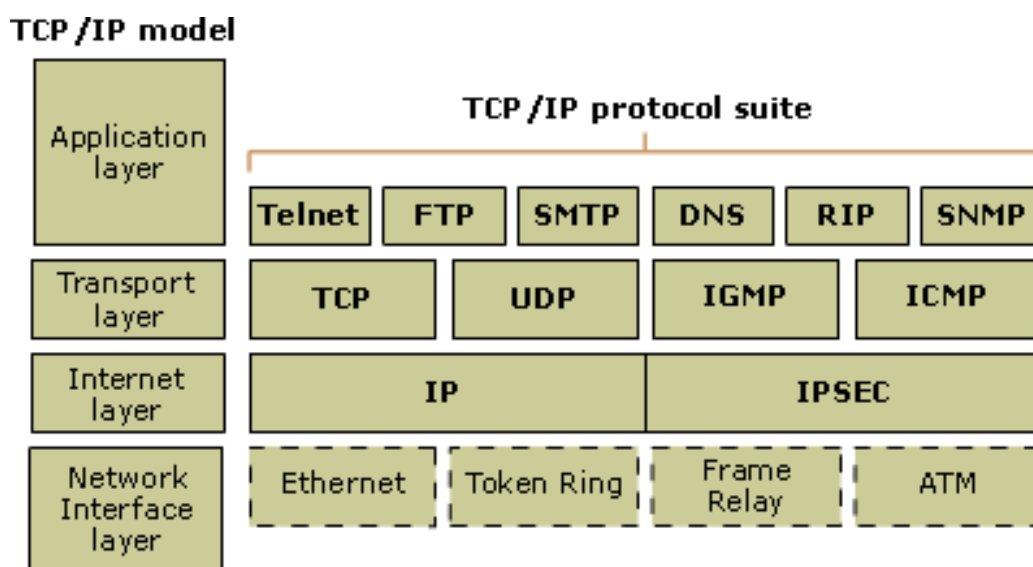
Ethernet 1000 Mbit/s

Využívá rozhraní GMII (Gigabit Media Independent Interface) a přenáší skupinu 8 bitů najednou.

- **1000BaseCX** – měděná kroucená dvojlinka označovaná jako twinax (vyvážený koaxiální pár), jejíž délka nesmí přesáhnout 25 metrů.
- **1000BaseT** – využívá kroucenou dvojlinku (UTP) kategorie 5 se čtyřmi páry s délkou do 100 metrů.
- **1000BaseSX** – vícevidové optické vlákno (MMF) o tloušťce jádra 62,5 a 50 mikronů. Jako zdroj se používá laser o vlnové délce 850 nm a délka může být až 220 m při tloušťce 62,5 mikronů, respektive 550 m při tloušťce 50 mikronů.
- **1000BaseLX** – jednovidové optické vlákno s jádrem o tloušťce 9 mikronů, dále laser s vlnovou délkou 1300 nm a délkou 3 až 10 kilometrů.

2 Model protokolu TCP/IP

Protokol TCP/IP je založen na čtyřvrstevém referenčním modelu. V sadě protokolů TCP/IP všechny protokoly patří do tří horních vrstev tohoto modelu. Na obrázku 2 je znázorněno, že každá vrstva modelu struktury protokolu TCP/IP odpovídá jedné nebo více vrstvám sedmivrstvého referenčního modelu OSI (Open Systems Interconnection) navrženého organizací ISO (International Standards Organization). [4] Detailnější popis jednotlivých vrstev je popsán v tabulce 1.



Obrázek 2: Model protokolu TCP/IP (převzato ze 4)

2.1 Protokol TCP (Transmission Control Protocol)

Protokol TCP přijímá od aplikací velké bloky dat a dělí je na segmenty. Každý segment očíslování a zařadí, aby cílový zásobník protokolu TCP mohl segmenty opět uspořádat tak, jak to vyžaduje příslušná aplikace. Po odesílání těchto segmentů vyčká zásobník protokolu TCP (na vysílajícím hostiteli) na potvrzení relace virtuálního okruhu TCP přijímající strany a opakuje přenos těch paketů, jež nebyly potvrzeny. Dříve, než přenášející hostitel v tomto modelu začne odesílat segmenty, kontaktuje zásobník protokolu TCP odesílatele odpovídající zásobník příjemce, aby bylo navázáno spojení. Vytvořená vazba se označuje jako virtuální kruh, tento typ komunikace se označuje jako spojově orientovaný. Na začátku navazování komunikace se obě vrstvy TCP dohodnou rovněž na objemu informací, které se budou předávat. Následně zásobník TCP příjemce odešle zpět potvrzení. Jakmile je vše předem domluveno, může probíhat spolehlivá komunikace. Protokol TCP je plně duplexní, spojovaný, spolehlivý a přesný, ale nastavení všech podmínek přenosu nad rámec kontroly chyb rozhodně není zadarmo.

Protokol TCP je velmi komplikovaný, a tudíž je s ohledem na svou síťovou režii velmi nákladný. Někdy je tato zvýšená spolehlivost v dnešních sítích často zbytečná. [3]

Tabulka 1: Popis vrstev modelu TCP/IP (upraveno dle 5)

Vrstva	Popis	Protokoly
Aplikace	Definuje aplikační protokoly TCP/IP. Dále způsob spolupráce hostitelských programů se službami přenosové vrstvy při využívání sítě.	Telnet, HTTP, FTP TFTP, DNS a další aplikační protokoly
Přenos	Obstarává správu komunikačních relací mezi hostitelskými počítači a definuje úroveň služeb a stav připojení při přenosu dat.	TCP, UDP
Internet	Vkládá data do datagramů IP obsahujících informace o zdrojové a cílové adrese, která se užívá k přenosu datagramů mezi hostiteli a sítěmi. Uskutečňuje směrování datagramů IP.	IP, ICMP
Síťové rozhraní	Stanovuje podrobnosti týkající se fyzického přenosu dat po síti včetně jejich převodu na elektrické signály používané hardwarovými zařízeními, jež pracují přímo se síťovými médii, jako jsou optická vlákna, kroucené měděné dvoulinky a koaxiální kabely.	Ethernet, Token Ring, Frame Relay, RS-232

2.1.1 Formát segmentu TCP

Horní vrstvy pouze odesílají datové proudy protokolům na transportních vrstvách. Když datový proud přijme internetová vrstva, směruje segmenty v rámci datové sítě v podobě paketů a segmenty zpracovává protokol hostitelské vrstvy přijímacího hostitele. Na obrázku 3 je znázorněn formát segmentu TCP, kde schéma představuje různá pole v hlavičce paketu TCP. [3]

bits	0-3	4-7	8-15	16-31
0	Source Port			Destination Port
32	Sequence Number			
64	Acknowledgment Number			
96	Data Offset	Reserved	Flags	Window
128	Checksum			Urgent Pointer
160	Options (optional)			
160/192+	DATA			

Obrázek 3: Segment protokolu TCP (převzato z 5)

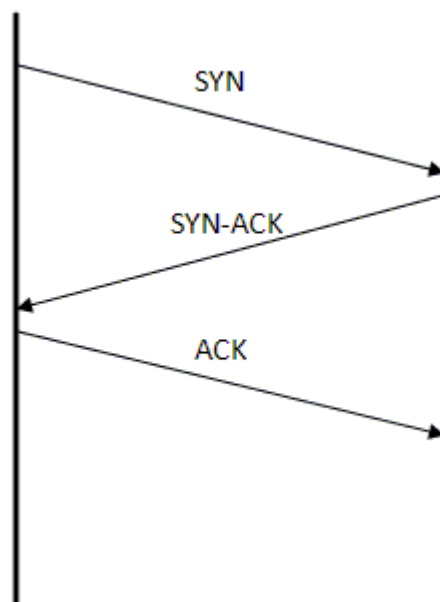
- **Source Port (Zdrojový port)** – číslo portu aplikace na straně hostitele, jež odesílá data.
- **Destination Port (Cílový port)** – číslo portu žádané aplikace v cílovém hostiteli.
- **Sequence Number (Pořadové číslo)** – číslo užívané protokolem TCP, které umožňuje znovu uspořádat data ve správném pořadí nebo opět přenést chybějící či poškozená data na základě procesu označovaného jako řazení paketů (sequencing).
- **Acknowledgement Number (Číslo potvrzení)** – následně očekávaný oktet TCP.
- **Reserved (Vyhrazeno)** - vždy nastaveno na nulu.
- **Flags** – řídicí funkce, která zajišťuje navázání a ukončení relace.
- **Window (Okno)** – velikost okna, které je příjemce ochoten přijmout, je udán v oktetech.
- **Checksum (Kontrolní součet)** – hodnota CRC (Cyclic redundancy check), jelikož protokol nedůvěřuje nižším vrstvám a vše kontroluje. Hlavička a datová pole jsou ověřovány hodnotou CRC.
- **Urgent Pointer (Naléhavé)** – pole je platné jen, když je nastaven ukazatel Urgent v kódovaných bitech. V kladném případě tato hodnota udává posun proti aktuálnímu pořadovému číslu (v oktetech), kde začíná první segment dat s nižší prioritou.
- **Options (Možnosti)** – jestliže se používá, může se rovnat 0 nebo násobku 32 bitů. To znamená, že nemusí být uvedena žádná možnost, ovšem když se v tomto poli používají jakékoliv možnosti, které se v souhrnu nevyrovňají násobku 32 bitů, je nutné použít vyplnění nulami, aby data začínala na hranici násobku 32 bitů.

- **Data** – data se předávají směrem dolů protokolu TCP na transportní vrstvě a zahrnují hlavičky protokolů vyšší vrstvy. [3]

2.1.2 Navázání spojení v TCP

Jestliže chceme vysílat data pomocí protokolu TCP, je nejprve potřeba vytvořit spojení. Pro jeho navázání se používá třicestný handshake (potřesení ruky). V průběhu utváření spojení se obě strany dohodnou na čísla sekvence (Sequence Number). Číslo sekvence a odpovědi (Sequence, Acknowledgement Number) jsou 32 bitové hodnoty uváděné v TCP hlavičce, pro vytvoření spojení se posílá TCP segment, jež má nastaveny příznaky (Flags) v TCP hlavičce. Jedná se o 8 bitových hodnot CWR (Congestion Window Reduced), ECE (ECN - Echo), URG (Urgent), ACK (Acknowledgement), PSH (Push), RST (Reset), SYN (Synchronize), FIN. Ukázka navazování spojení v protokolu TCP je znázorněno na obrázku 4. Navázání spojení má tři kroky:

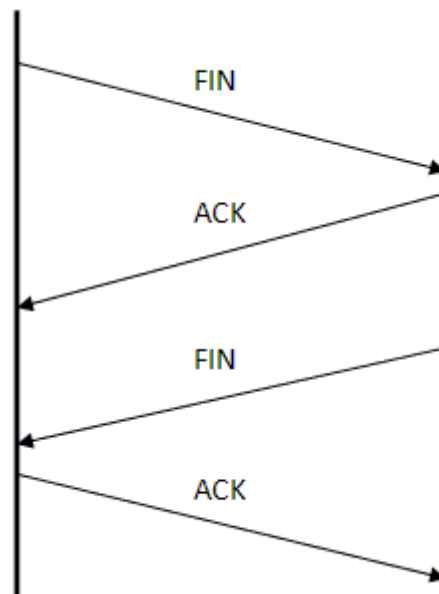
- Krok 1: Klient vyšle SYN paket s uvedeným číslem sekvence (x), číslo 0.
- Krok 2: Druhá strana si číslo sekvence (x) uloží a odpoví SYN-ACK, jako číslo sekvence nastaví svoje číslo (y) a do čísla odpovědi vloží (x+1), jedná se o další očekávanou hodnotu.
- Krok 3: Klient odpoví ACK, číslo sekvence (x+1), číslo odpovědi (y+1). [5]



Obrázek 4: Navázání spojení v protokolu TCP (upraveno dle 5)

2.1.3 Ukončení spojení v protokolu TCP

Princip ukončení spojení je podobný jako při jeho navazování. Častokrát se používá čtyřcestný handshake, kdy každá strana samostatně uzavře spojení. Používají se sekvence FIN s odpovědí ACK. Ukázka ukončení spojení je znázorněna na obrázku 5.

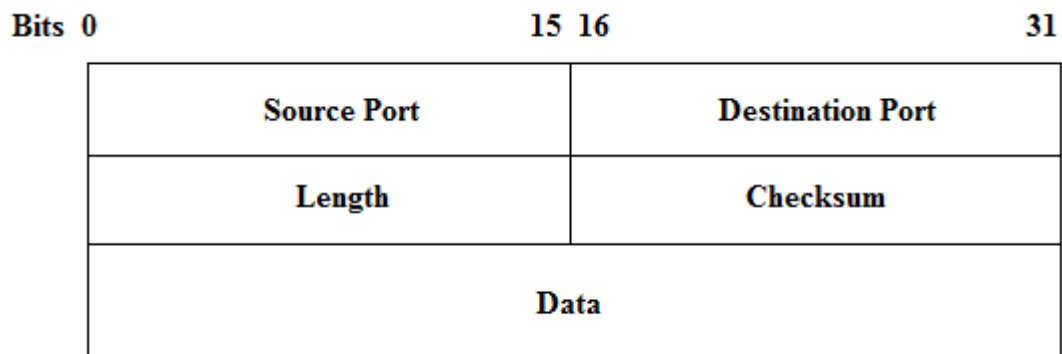


Obrázek 5: Ukončení spojení v protokolu TCP (upraveno dle 5)

2.2 Protokol UDP (User Datagram Protocol)

Protokol UDP je v podstatě zjednodušenou ekonomickou verzí protokolu TCP. Model UDP se někdy označuje jako tenký protokol, protože vyžaduje menší šířku pásma sítě. Protokol UDP nenabízí všechny pokročilé funkce jako protokol TCP, ale dokonale plní úkol přenosu informací, které nevyžadují spolehlivé doručení, a potřebuje mnohem méně síťových prostředků. V některých situacích je rozumné, aby vývojáři dali přednost protokolu UDP před protokolem TCP. Protokol UDP neřadí segmenty a nestará se o to, v kterém pořadí dorazí do cílového umístění, UDP jen odešle segmenty a dále se jimi nezajímá. Tyto segmenty nesleduje a nekontroluje jejich stav, ani neposkytuje potvrzení bezpečného doručení. Protokol UDP se označuje jako nespolehlivý, ovšem to neznamená, že by byl neefektivní, pouze neřeší otázku spolehlivosti. UDP nevytváří virtuální okruh ani nekontaktuje umístění před tím, než mu odešle data, a proto se označuje za nespojovaný protokol. Protokol UDP míní, že aplikace zajistí spolehlivost svými vlastními metodami a sám žádnou takovou metodu

nepoužívá. Na obrázku 6 je vidět, jak má protokol UDP nízkou režii oproti protokolu TCP. [3]



Obrázek 6: Datagram UDP (upraveno dle 3)

- **Source port (Zdrojový port)** – jedná se o číslo portu aplikace na straně hostitele, která odesílá data.
- **Destination port (Cílový port)** – číslo portu požadované aplikace v cílovém hostiteli.
- **Length (Délka)** – délka hlavičky UDP a přenášených dat.
- **Checksum (Kontrolní součet)** – kontrolní součet kombinace hlavičky UDP s datovými poli.
- **Data** – data horní vrstvy.

3 Výběr hardwaru

3.1 Mikrokontrolér

Tato diplomová práce se také zabývá vhodným výběrem mikrokontroléru. Nakonec byl vybrán 8-bitový mikrokontrolér od firmy Atmel Atmega32 16PU. Jednak z důvodu přijatelné ceny, dále má tento mikroprocesor velké množství periférií a také je dostupný. V následujícím seznamu jsou napsány vlastnosti mikrokontroléru Atmega32 16PU.

Pracuje na základě rozšířené RISC (Reduced Instruction Set Controllers) architektury:

- 131 výkonných instrukcí prováděných pomocí nejjednodušších hodinových cyklů.
- 32 hlavních 8-bitových pracovních registrů.
- Až 16 MIPS při maximální frekvenci 16 MHz.
- Integrovaná 2-cyklová násobička.

Obsahuje energeticky nezávislé paměti:

- 32 kB programovatelné Flash paměti.
- 1024 B EEPROM paměť.
- Vnitřní 2 kB SRAM paměť.

Periferie obsahují:

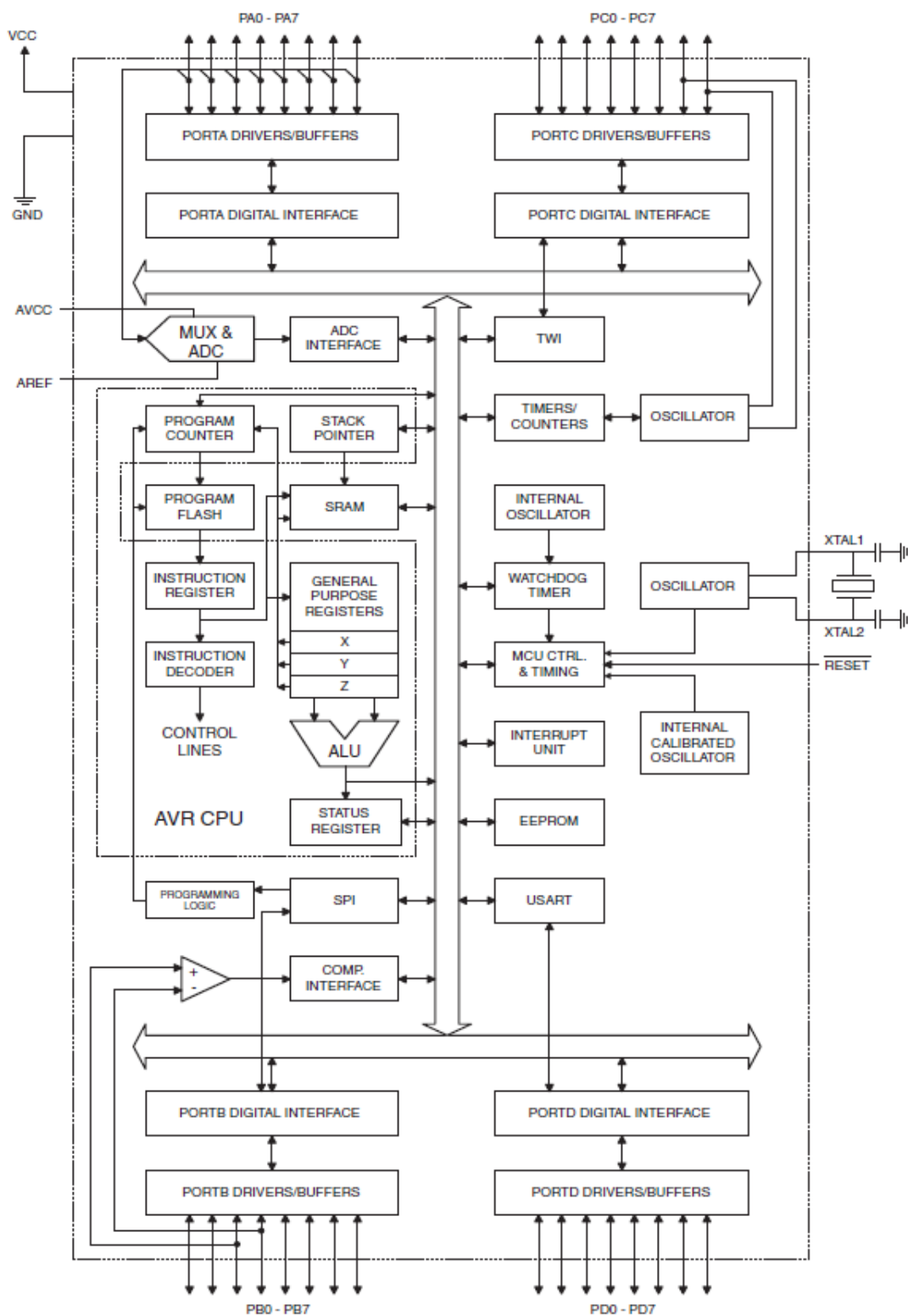
- Dva 8-bitové časovače/ čítače s odděleným prescalerem a jedním compare modem.
- Jeden 16-bitový časovač/čítač s odděleným prescalerem, jedním compare modem a capture modem.
- Čtyři PWM kanály (PWM – pulzně šířková modulace).
- Hodiny reálného času s odděleným oscilátorem.
- Integrovaný analogový komparátor.
- Master/ Slave sériové rozhraní SPI (Seriál Peripheral Interface).
- Programovatelné sériové USART.
- 8 kanálů AD převodníků, 8 kanálů s 10-bitovou přesností.

Další speciální vlastnosti mikrokontroléru:

- Interní kalibrovaný RC oscilátor.
- Externí a interní zdroje přerušení.
- Reset při zapnutí a programovém poklesu napětí.
- Šest režimů spánku. [6]

Mikroprocesory Atmega mají harvardskou architekturu, která je založena na instrukční sadě RISC. Jedná se především o instrukce, jejichž operační část lze vykonat v jediném strojovém cyklu. Dále se v instrukční sadě od sebe separují aritmetické a logické instrukce na jedné straně a instrukce pro ukládání a načítání operandů do operační paměti na straně druhé. Logické a aritmetické instrukce striktně pracují jen s obsahem pracovních registrů, kterých bývá obecně větší množství, než je tomu na typických architekturách CISC. [7]

Komunikace s mikrokontrolérem bude probíhat pomocí rozhraní SPI. SPI rozhraní je jednosměrné nebo obousměrné rozhraní pro připojení periferních obvodů mikrokontroléru. V tomto případě půjde o komunikaci s ethernetovým modulem ENC28J60. Princip přenosu spočívá v tom, že se jen jeden vodič používá pro přenos dat a druhý pro potvrzení platnosti těchto dat na straně výstupu. Informace se přenáší bit po bitu sériově. Podstatnou vlastností tohoto přenosu je skutečnost, že vysílací strana nikdy nečeká, jestli přijímací strana přijme všechny data bezchybně. Toto se řeší pomocí vhodné volby přenosového modulu. [7] Blokové schéma mikrokontroléru Atmega32 16PU je zobrazeno na obrázku 7.



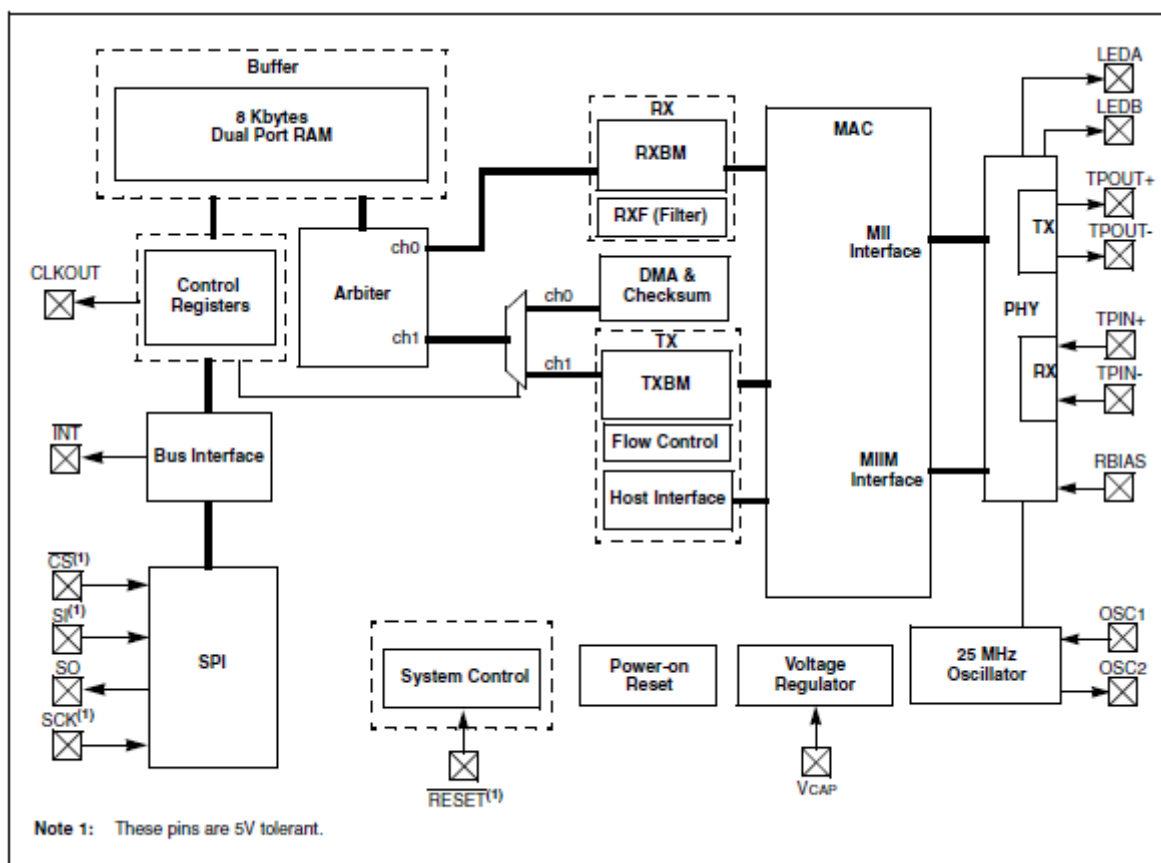
Obrázek 7: Blokové schéma mikrokontroléru Atmega32 16PU (převzato z 6)

3.2 Ethernetový komunikátor

Dále byl zvolen ethernetový komunikátor ENC28J60 od firmy Microchip. Velká výhoda tohoto modulu je jeho nízká cena. Jedná se o samostatný ethernetový řadič s rozhraním SPI. Je navržen tak, aby sloužil jako ethernetové rozhraní pro jakékoli zařízení vybavené rozhraním SPI. ENC28J60 splňuje všechny specifikace normy IEEE 802.3. [8] Blokové schéma tohoto modulu je znázorněno na obrázku 8.

Vlastnosti modulu ENC28J60:

- Integrovaný MAC a 10BASE-T PHY.
- Podporuje režimy Half-Duplex a Full-Duplex.
- Automatické odmítnutí chybných paketů.
- Interní DMA pro rychlý přesun dat.
- Řízení hardware cirkulačním příjmem typu FIFO.
- Rozhraní SPI s rychlostí hodin až 25 MHz.
- Vrstva MAC.
- Podporuje pakety typu Unicast, Multicast a Broadcast. [8]



Obrázek 8: Blokové schéma ENC28J60 (převzato z 8)

3.3 PoE (Power over Ethernet)

Způsob tohoto napájení byl zvolen z důvodu, že nemusí být jiné napájení mikrokontroléru a ethernetového modulu, protože komunikace a napájení je řešeno pomocí jednoho kabelu. PoE je definováno standardem IEEE802.3af.

V případě starších zařízení je PoE řešeno přes volné párové vodiče, ale tohoto zapojení není možné využít pro gigabitové sítě. Standard IEEE 802.3af definuje možnosti napájení ethernetových zařízení prostřednictvím datových vodičů stávající kabeláže CAT5 bez nutnosti použití přídavných napájecích zdrojů či síťových adaptérů na straně napájeného zařízení. Aktivní prvky podporující standard IEEE 802.3af jsou stále velmi drahé a těžko dosažitelné, a proto se používají integrované obvody (PSE + PD) umožňující jednoduchou realizaci napájení plně podporujícího PoE, které jsou snadno dostupné již nyní. [9]

Základní vlastnosti PoE dle standardu IEEE 802.3af:

- Napětí 44 - 57 V.
- Maximální proud 550 mA.
- Maximální zapínací proud 500 mA.
- Typický proud 10 - 350 mA.
- Detekce přetížení 350 - 500 mA.
- Odběr v klidovém stavu maximálně 5 mA.

3.3.1 Zapojení Power over Ethernet

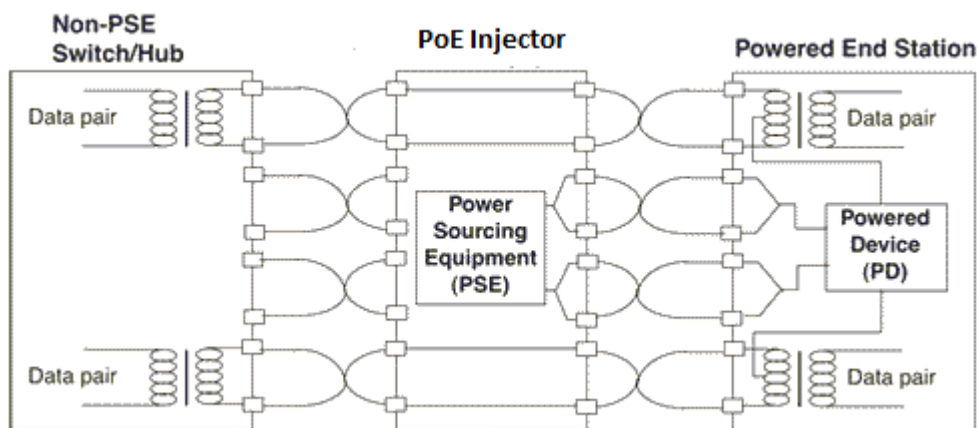
Napájení PoE lze rozdělit na dvě části. První částí je napájecí zdroj, neboli PSE (Power Sourcing Equipment) tvořící řídicí prvek PoE, a druhou částí je zdroj napájeného spotřebiče, který se označuje jako PD (Powered Device). Obě části spolu musí komunikovat tak, aby byl zajištěn nejen dostatečný přísun proudu, ale současně ochrana napájeného zařízení i napájecího zdroje. Zatímco PSE poskytuje napájecí napětí a řídí komunikaci, úkolem PD je vlastní identifikace na základě požadavků PSE a současně obsluha, resp. zapínání a vypínání spotřebiče [10].

PSE se rozděluje na dva druhy:

- Interní PSE
- Externí PSE

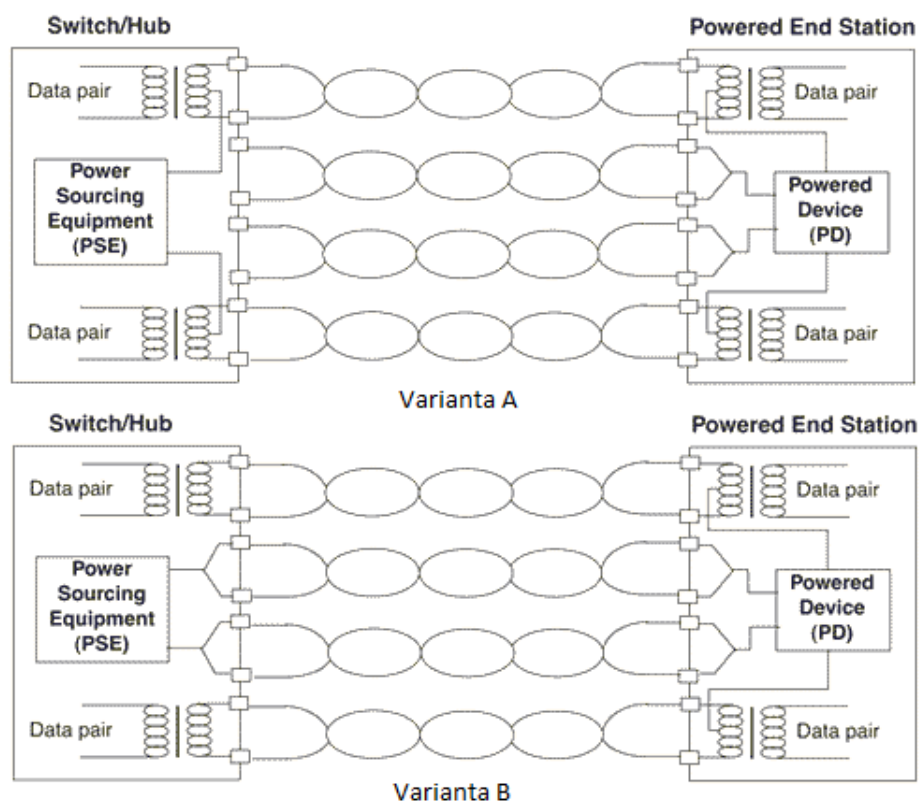
Interní PSE je integrováno do moderních a drahých aktivních síťových prvků (routery a switche). Jako externí PSE se používá tzv. PoE Injector, který je zapojen mezi aktivní prvek bez interní PSE a napájené zařízení PD. K PoE Injectoru se musí připojit externí napájecí zdroj. Toto zapojení je znázorněno na obrázku 9. Výstupní napětí bývá podle standardu IEEE802.3af u interní PSE 44 V až 57 V a pro jeho snížení se používá PoE Splitter, který snižuje napětí na určené. Dalším zařízením je použití DC

měníče, které jsou určené pro napájení přes PoE, uvnitř napájeného zařízení. Výstupní napětí u externí PSE je určeno použitým typem PoE Injectoru. [10]



Obrázek 9: Schéma zařízení napájeného zařízení k aktivnímu prvku bez interní PSE (10)

Varianta A v obrázku 10 znázorňuje napájení po datových vodičích. Znamená to, že jsou využívány dva páry vodičů a napájení je připojeno na středy vinutí oddělovacích transformátorů. Ve variantě B v obrázku 10 se využívá napájení po volných vodičích z aktivních prvků, kde je kladné i záporné napětí přenášeno po dvou nevyužívaných párech vodičů. Při použití PoE Injectoru je aktivní prvek spojen s napáječem, který doplní napájecí napětí a znovu vyvede všechny vodiče na výstupní konektor.



Obrázek 10: Schéma zapojení napájeného zařízení k aktivnímu prvku s interní PSE (10)

3.3.2 Komunikace mezi zařízeními

Byl definován režim činnosti obou zařízení, který umožňuje komunikaci v analogové rovině. Jedinou podmínkou je, že obě zařízení musí plně odpovídat standardu IEEE 802.3af. Komunikace následně probíhá na základě jednoduchého modelu:

1. Detekce zařízení odpovídající PoE.
2. Určení výkonové třídy napájeného zařízení.
3. Aktivace napájecího zdroje napájeného zařízení.
4. Napájení.
5. Klidový režim.

Jednotlivé režimy jsou znázorněny v tabulce 2.

Tabulka 2: Napětí PSE a PD pro jednotlivé režimy činnosti (převzato z 10)

Rozsah napětí PSE [V]	Rozsah napětí PD [V]	Režim	Popis
2,8 – 10,0	2,7 – 10,1	Detekce	PSE testuje přítomnost 25kΩ rezistoru
15,5 – 20,5	14,5 – 20,5	Identifikace třídy	PSE měří proud identifikující napájecí třídu
30,0 – 44,0	30,0 – 42,0	Aktivace PD	PD ve stavu UVLO, nabíjí překlenovací kondenzátory
44,0 – 57,0	36,0 – 57,0	Napájení	Koncové zařízení je plně napájeno
0,0 – 2,8	-	Klid	Výstup PSE je odpojen

Detekce zařízení PoE

Detekce zařízení komunikujících dle standardu Power Over Ethernet probíhá na bázi měření terminačního odporu, jenž je pro standard PoE 25 kΩ, přičemž zatěžovací kapacita nesmí překročit 120 nF.

Napájecí zdroj PSE použít do obvodu stejnosměrné napětí v rozsahu $2,8 \div 10$ V. Jestliže je na straně spotřebiče detekován terminační (zatěžovací) rezistor v rozmezí $24,1 \div 26$ kΩ, je zařízení považováno za odpovídající IEEE 802.3af a začíná druhá fáze identifikace napájeného zařízení spočívající v detekci napájecí třídy.

Detekce zařízení komunikujícího dle PoE musí probíhat nezávisle na polaritě napájecího napětí, což je ve většině případů řešeno diodovým usměrňovacím můstkem řešícím problematiku polarity pro případ výměny datových vodičů a délka měření nesmí překročit 500 ms, aby nedošlo k přetížení napájecího zdroje. Jestliže není terminační odpor součástí speciálního integrovaného obvodu řešícího všechny funkce náležející PD, zapojuje se rezistor za usměrňovací můstek, zatímco ostatní obvody jsou odděleny elektronickým spínačem eliminujícím vliv filtračních kapacit. Ačkoli tedy terminační rezistor představuje trvalou zátěž, vzhledem k velkému odporu je jeho odběr zanedbatelný (2 mA při 48 V). [10]

Zjištění výkonové třídy

Standard Power Over Ethernet definuje čtyři, respektive pět výkonnostních tříd napájených spotřebičů, lišících se maximálním povoleným příkonem, viz tab. 1.4. Zatímco třídy 1 až 3 definují konkrétní povolené mezní příkony, třída 4 odpovídá mezním výkonem třídy 3 nebo 0 a je ve specifikaci uváděna jen jako rezerva do budoucnosti. Třída 0 je považována za výchozí a je nastavena v případě, kdy je detekováno zařízení odpovídající standardu PoE. Pokud není známa jeho třída, spotřebič tuto informaci neposkytuje.

Identifikace výkonové třídy napájeného zařízení probíhá měřením proudu tekoucího ze zdroje při napětí 15,5 – 20 V. Je-li proud menší než 4 mA, je zařízení považováno za neznámé, a je-li spotřeba větší než 44 mA, je detekováno jako nepovolené a proces spouštění je ukončen, respektive vrací se na bod detekce zařízení PoE.

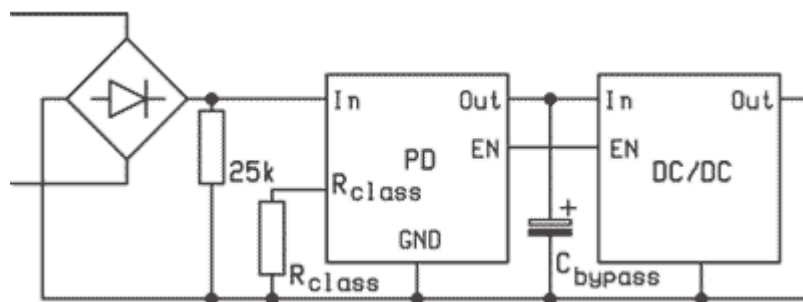
Díky velkému identifikačnímu proudu a tedy i velké výkonové ztrátě v PSE i PD je délka měření omezena na 75 ms, během které buď dojde ke zjištění výkonové třídy nebo PSE přejde zpět do stavu detekce zařízení PoE. Vzhledem k omezení doby identifikace by proto na straně PD neměla obvodům vytvářejícím identifikaci třídy předcházet větší filtrace napájecího napětí (jednotky μF). [10]

Tabulka 3: Výkony, příkony a identifikační proudy pro jednotlivé výkonové třídy (převzato z 10)

Třída	Proud [mA]	Max. příkon PD [W]	Max. výkon PSE [W]	Popis
0	0 – 4	12,95	15,4	Neznámý příkon, PD se neidentifikoval
1	9 – 12	3,84	4,0	Nízký příkon PD
2	17 – 20	6,49	7,0	Střední příkon PD
3	26 – 30	12,95	15,4	Vysoký nebo plný příkon PD
4	36 – 44	12,95	15,4	Vyhrazeno pro budící použití

Aktivace PD

Určí-li se výkonová třída spotřebiče, zvýší se následně napájecí napětí na hodnotu $30 \div 44 \text{ V}$ označovanou jako UVLO. Ta je signálem pro zdroj v napájeném zařízení, aby uvolnil výstup napájecího napětí. Režim aktivace je příhodný zejména pro nabití překlenovacího kondenzátoru, jehož úkolem je omezit okamžitý proudový odběr spotřebiče po jeho připojení. Pokud by proudový odběr překračoval povolené limity pro danou třídu, napájecí zdroj by mohl danou situaci vyhodnotit jako zkrat, po kterém by následovalo opětné odpojení napájení. V režimu aktivace je povolen krátký pokles napětí pod dolní prahovou mez, aniž by došlo ke vzniku nežádoucího kmitání. Jestliže je po této době napětí v povoleném rozsahu, přejde PSE do provozního stavu. Dle IEEE 802.3af může režim aktivace trvat až 50 ms, což odpovídá cca 180 μF . V praxi se však setkáme i se zařízeními s delším intervalem. [10] Blokové zapojení PD je znázorněno na obrázku 11.



Obrázek 11: Blokové Zapojení PD (převzato z 10)

Provozní režim

V případě úspěšného ukončení aktivační fáze poskytne PSE plné napájecí napětí, které je signálem pro PD k zapnutí spotřebiče. PD by neměl povolit zapnutí zařízení, pokud je napájecí napětí nižší než 36 V na PD, resp. 44 V z PSE. Zatímco u zařízení s nízkým příkonovým charakterem odporové zátěže lze ovládání zařízení zdrojem vypustit, zejména v případě měničů napětí náchylných ke zvýšení odběru při nižším vstupním napětím je zapínání pomocí PD nezbytné, aby se nepřekročily povolené proudové limity.

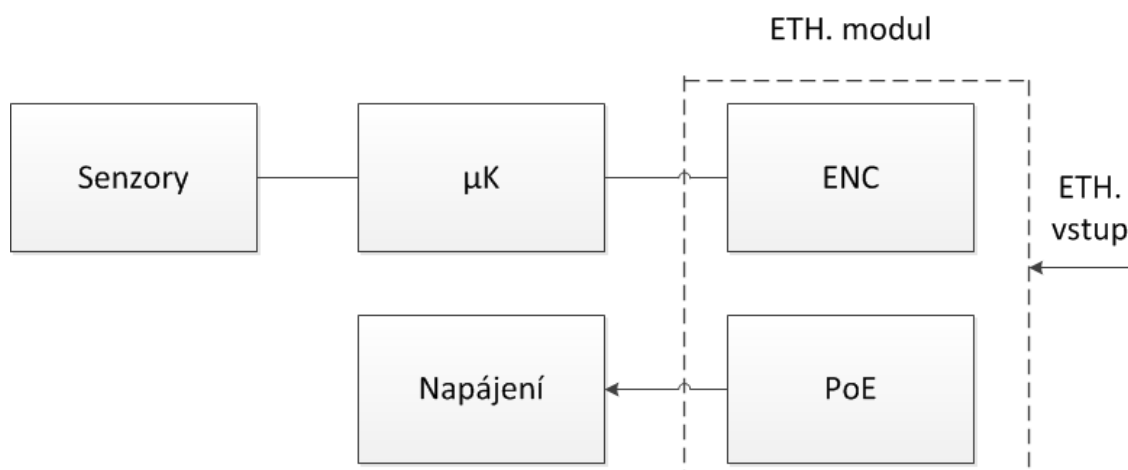
V provozním režimu jsou sice připuštěny nárazově vyšší proudové odběry, avšak jejich délka nesmí překročit 50 ms, jinak dojde k odpojení napájecího napětí z PSE. Naopak je určen minimální vyžadovaný odběr proudu, který nesmí poklesnout pod 10 mA (cca 0,5 W). Pokud se tak stane, PSE vyhodnotí tento stav jako odpojení spotřebiče a přeruší dodávku proudu. V aplikacích s nízkým příkonem lze potřebu minimálního proudu redukovat použitím krátkodobých proudových odběrů označovaných jako MPS (Maintain Power Signature), při kterých je minimální proud 10 mA odebrán po nejméně 75 ms, po kterých může následovat úsek snížené spotřeby až 250 ms. [10]

Klidový režim

Klidový režim se týká pouze napájecího zdroje a je definován napětím $0 \div 2,8$ V. Jedná se o možnou zbytkovou hodnotu napětí pocházejícího z PSE, na které nesmí PD reagovat. Klidový stav nastává v okamžiku, kdy není PSE schopen detekovat zařízení odpovídající standardu PoE. [10]

4 Blokové schéma zařízení

V rámci této kapitoly bude vytvořeno blokové schéma zapojení, které bude schopno předávat informace přes Ethernet. Blokové schéma zapojení je znázorněno na obrázku 12. Jednotlivé bloky jsou popsány níže.



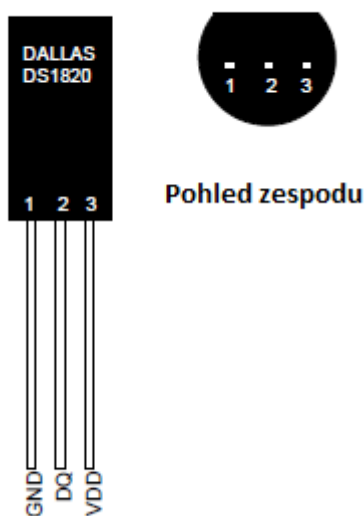
Obrázek 12: Navrhnuté blokové schéma zapojení (vlastní zpracování)

- Blok ENC je řešen pomocí ENC28J60, který řeší komunikaci mezi Ethernetem a mikrokontrolérem. Dále tento blok obsahuje konektor RJ-45, který má v sobě oddělovací transformátory. Modul ENC28J60 je napájen 3,3 V z bloku napájení.
- Blok PoE obsahuje tzv. Power Device, který slouží k identifikaci. Hlavním identifikačním článkem je odpor 25 kΩ. PoE má velikost napětí 48 V. Jelikož je toto napětí vysoké, dále se upravuje v bloku napájení.
- Blok napájení obsahuje DC/DC měnič, který má pevně nastaveno výstupní napětí na 5 V. Byl zvolen typ LN2475. Toto napětí se používá jako napájecí napětí mikrokontroléru Atmega. Dále je napětí pomocí stabilizátoru ještě upraveno na 3,3V, které je potřebné k napájení modulu ENC28J60.
- Blok μK obsahuje zmiňovaný mikrokontrolér Atmega32 16PU, který bude sbírat data ze senzorů. Mikrokontrolér je napájen napětím o velikosti 5V.
- Blok se senzory představuje snímače teploty.

4.1 Snímač teploty

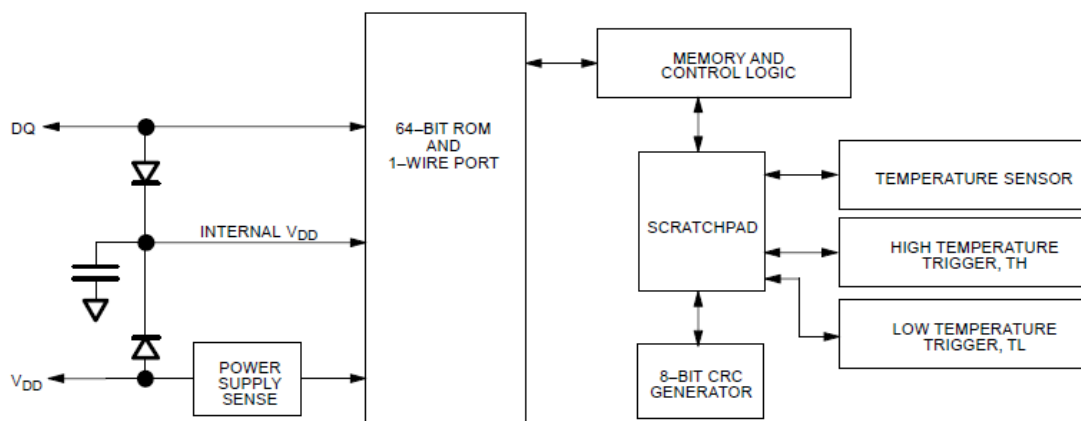
Pro snímání teploty bylo vybráno digitální čidlo teploty DS1820 od firmy Dallas Semiconductor. Jedná se o digitální čidlo, jehož největší výhodou je, že komunikace s mikrokontrolérem probíhá po jednom vodiči. Toto čidlo se dodává v pouzdře TO-92, které je znázorněno na obrázku 13. Toto čidlo je velice jednoduché. Některé jeho výhody jsou:

- Unikátní 1-Wire™ rozhraní, které vyžaduje pouze jeden pin portu pro komunikaci.
- Unikátní 64-bitový sériový kód, který je uložen v paměti ROM.
- Rozsah měřené teploty je od $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ s přesností $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Schopnost Multidrop zjednodušuje distribuované snímání teploty.
- Teplota je čtena jako 9bitová digitální hodnota.
- Nevyžaduje žádné externí komponenty.
- Muže být napájen z datové linky.
- Teplota je převáděna na digitální slovo v 200 ms.



Obrázek 13: Teplotní čidlo DS1820 (převzato z 11)

Toto čidlo má 3 vodiče. Vodič GND se připojuje na zem, vodič VDD se připojuje na napájecí napětí o velikosti 5 V a poslední pin DQ se připojuje k mikrokontroléru, mezi které se ještě připojuje pull-up resistor, který je napájen 5 V. Blokové schéma digitálního čidla teploty je zobrazeno na obrázku 14.



Obrázek 14: Blokové schéma snímače teploty DS1820 (převzato z 11)

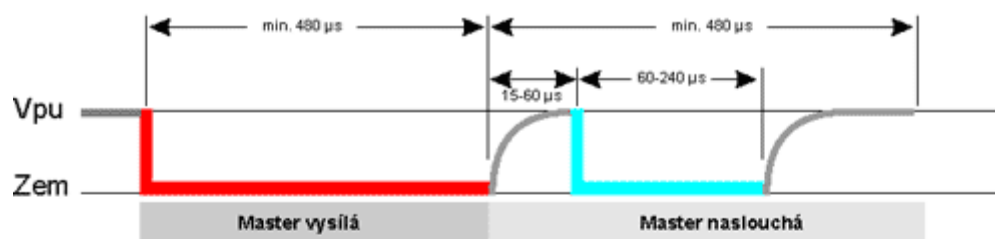
Asi největší výhodou tohoto čidla je komunikace pomocí 1-Wire rozhraní. Princip tohoto rozhraní je následovný. Sběrnice má jeden řídící obvod (master) a jeden nebo více ovládaných zařízení (slave). Všechny obvody jsou zapojeny na společnou zem, dále pak paralelně na společný datový vodič. Tento datový vodič se připojuje přes odpor 4K7 na napájecí napětí a tím je nastavena na sběrnici logická "1".

Komunikace je zahájena vždy masterem, který nastaví puls reset. Nejdříve je datový vodič uzemněn tzv. nastaven do logické "0", tato úroveň se udržuje minimálně 480 ms. Pak sběrnici uvolní a naslouchá, odpor vrátí sběrnici zpět do logické "1". Jestliže je na sběrnici připojeno nějaké 1-Wire zařízení, tak detekuje tuto vzestupnou hranu a po prodlevě (15 – 60 μ s) stáhne sběrnici na 60 – 240 μ s k logické "0". [12]

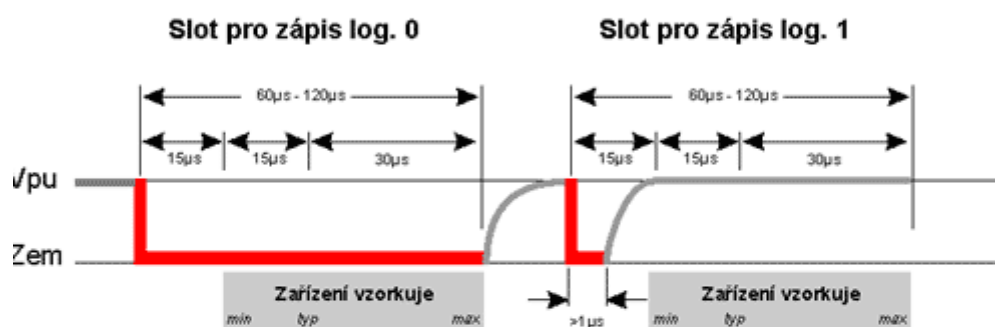
Jestliže se zařízení správně ohlásí, může master začít vysílat a přijímat data. Data jsou vysílány v časových úsecích tzv. time slotech. Tento úsek je dlouhý 60 až 120 μ s a během jednoho slotu je vyslán nebo přijat jeden bit informace. Mezi těmito sloty musí být minimálně 1 μ s mezera, kdy je sběrnice v klidu.

V praxi existují 4 druhy slotů: Zápis 1, Zápis 0, Čtení 1, Čtení 0. Zápisové sloty se využívají k tomu, aby master poslal data do zařízení. Zápis 1 probíhá tak, že master nastaví sběrnici na nulu na 1 μ s a nejpozději do 15 μ s od začátku ji opět uvolní a ponechá uvolněnou. Zdvihací odpor ji zpátky nastaví na logickou "1". Zápis 0 je jednodušší. Master stáhne sběrnici k logické "0" a ponechá ji 60 μ s. Zařízení vzorkuje stav na datovém vodiči zhruba 30 μ s po začátku slotu. Čtecí sloty opětovně inicializuje master tím, že nastaví sběrnici k nule na min. 1 μ s, následně ji uvolní. Po tomto zahájení může zařízení vyslat 1 bit, že ponechá sběrnici v klidu (logická "1") nebo ji nastaví na logickou "0". [12] Ukázka je znázorněna na obrázku 15.

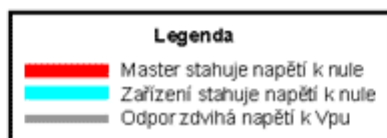
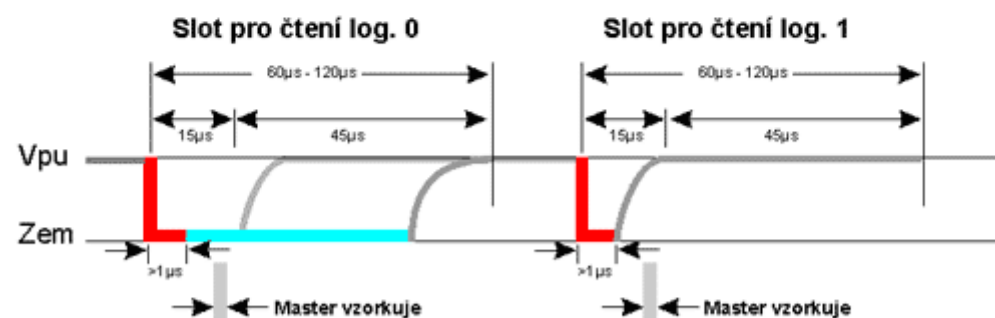
1-Wire™ Reset



1-Wire™ Vysílání dat



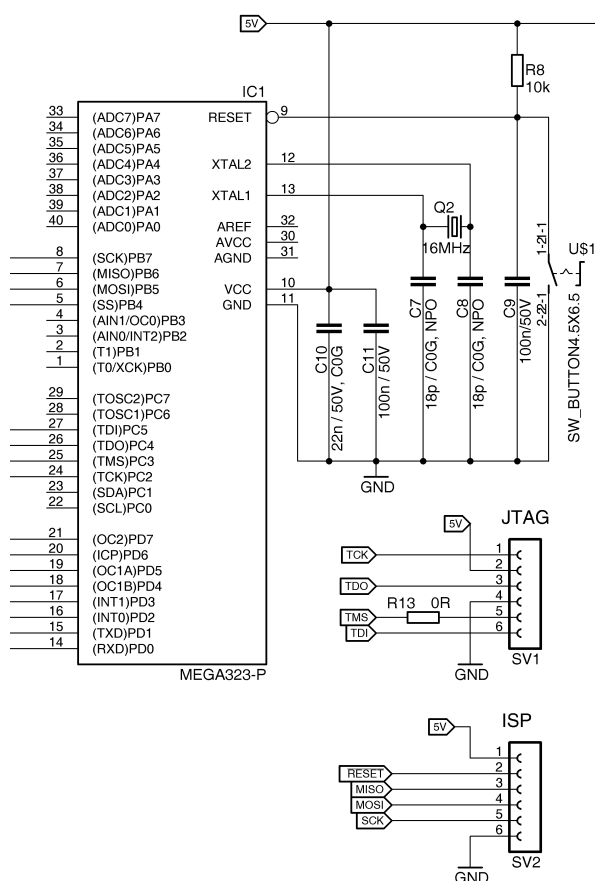
1-Wire™ Příjem dat



Obrázek 15: Průběhy na sběrnici 1-WIRE (upraveno dle 12)

4.2 Mikrokontrolér

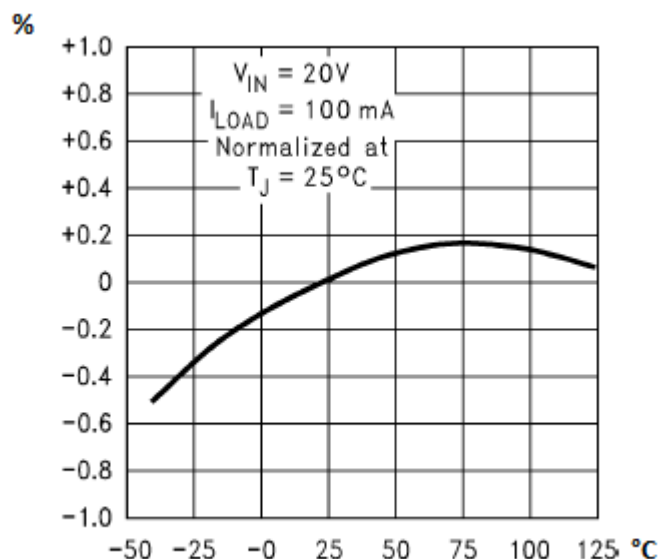
Mikrokontrolér je napájen napájecím napětím 5 V. Obvod mikrokontroléru je doplněn o resetovací obvod, který je zajištěn pomocí rezistoru R8 a kondenzátoru C9 a tlačítka U\$1. Jedním z důležitých externích prvků je krystal o frekvenci 16 MHz, doplněný o blokovací kondenzátory C7 a C8. Externí krystal byl zvolen, protože vnitřní RC oscilátor mikrokontroléru je značně nepřesný. Frekvence 16 MHz byla zvolena, aby bylo využito maximální funkčnosti mikrokontroléru. Dále byly připojeny konektory, aby mohl být mikrokontrolér naprogramován, jednak konektor JTAG a také konektor ISP. Pomocí rozhraní JTAG je možné ladění programu přímo na čipu ve vývojovém prostředí AVR Studio.



Obrázek 16: Mikrokontrolér s resetovacím tlačítkem (vlastní zpracování)

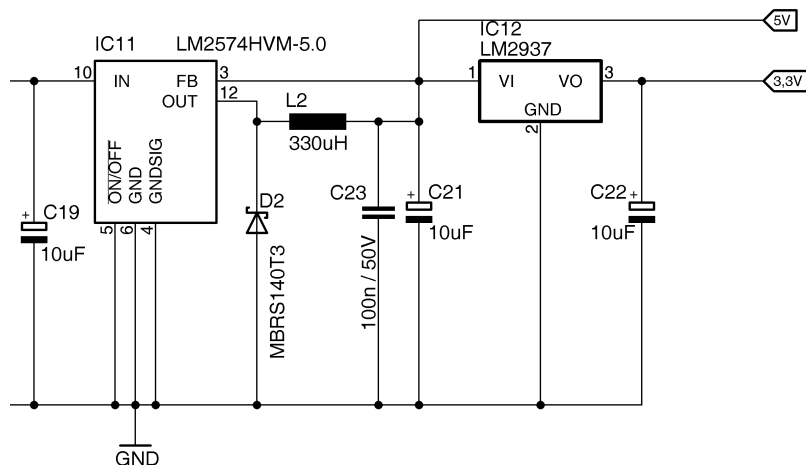
4.3 Napájení

Hodnota napájecího napětí celého zařízení je 5 V. Toto napětí získáme na výstupu DC/DC měniče LM2574HVM-5.0 firmy Texas Instrumens, které má na vstupu přivedeno napětí z PoE o velikosti 48 V. Garantuje výstupní napětí 5 V při teplotě 25°C při vstupním napětí 7 V až 60 V, což v našem případě stačí. Změna výstupního napětí v závislosti na změně teploty je vidět z obrázku 17.



Obrázek 17: Závislost výstupního napětí na teplotě měniče LM2574HVM-5.0 (upraveno dle 13)

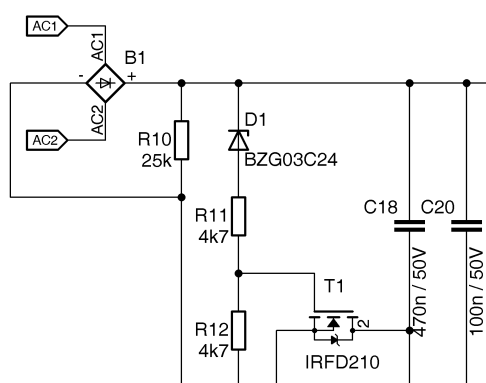
Integrovaný obvod LM2574HVM-5.0 je doplněn o Schottkyho diodu, cívku, keramický a elektrolytický kondenzátor velikosti a typy součástek byly zvoleny dle doporučení výrobce. Výstupní napětí se používá jako napájecí napětí mikrokontroleru. Napětí 5 V se dále upravuje na napětí 3,3 V pomocí integrovaného obvodu LM2937 od firmy National Semiconductor, který je doplněn o 2 elektrolytické kondenzátory (C21, C22) o velikosti 10 μ F.



Obrázek 18: Schéma zapojení DC/DC měničů (vlastní zpracování)

4.4 PoE

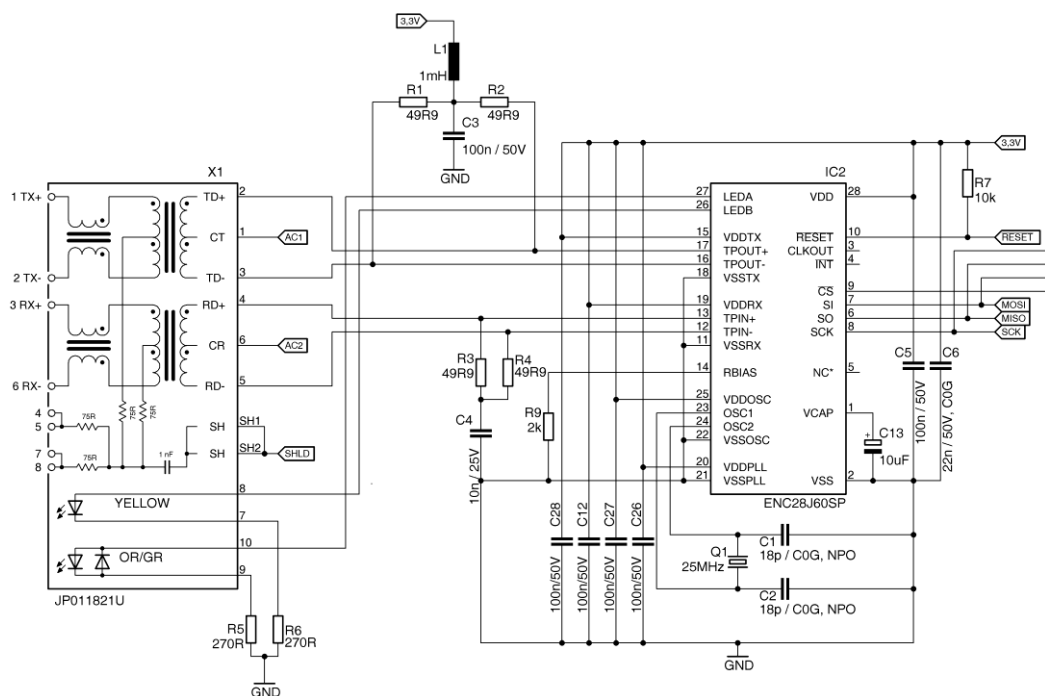
Napájení typu Power over Ethernet bylo zvoleno z důvodu, že nebude potřeba další kabeláže a bude stačit pouze jeden přívodní ethernetový kabel (CAT-5). V našem případě využíváme přenos napětí po datových vodičích a napětí je přivedeno na středy vinutí oddělovacích transformátorů. Pro rozpoznání, že se jedná o zařízení, které podporuje PoE, slouží terminační odpor R10 25k Ω .



Obrázek 19: Zapojení Powered Device (vlastní zpracování)

4.5 ENC

Tento blok zahrnuje ethernetový konektor RJ-45 a ethernetový komunikátor ENC 28J60. Ethernetový komunikátor je napájen napětím 3,3 V, komunikuje s mikrokontrolérem pomocí sériové sběrnice SPI, ta zajišťuje vysokorychlostní přenos. Hlavními výhodami SPI jsou plný duplex (schopnost současně vysílat a přijímat), třívodičový synchronní přenos dat, lze volit pořadí bitů a příznaky konce a kolize přenosu. O taktovací frekvenci se stará krystal Q1, jehož frekvence je 25 MHz, který je doplněn o blokovací kondenzátory C1 a C2, jejichž velikost je 18 pF. Pro informaci o funkčnosti, a že zařízení pracuje, jsou zapojeny diody v konektoru RJ-45. Dále jsou zapojeny filtrační součástky, které jsou připojeny na datové vodiče, které byly zvoleny a jejich hodnoty navrženy dle výrobce.



Obrázek 20: Zapojení komunikátoru ENC28J60 s konektor RJ-45 (vlastní zpracování)

4.6 Návrh desky plošných spojů

Pro realizaci elektrického schématu byl vytvořen návrh desky plošných spojů. Deska plošných spojů je dvojvrstvá, tloušťka mědi je 35 μm a velikost desky je 146,4 x 74,7 [mm]. Použité součástky byly kombinací SMD a SMT technologií.

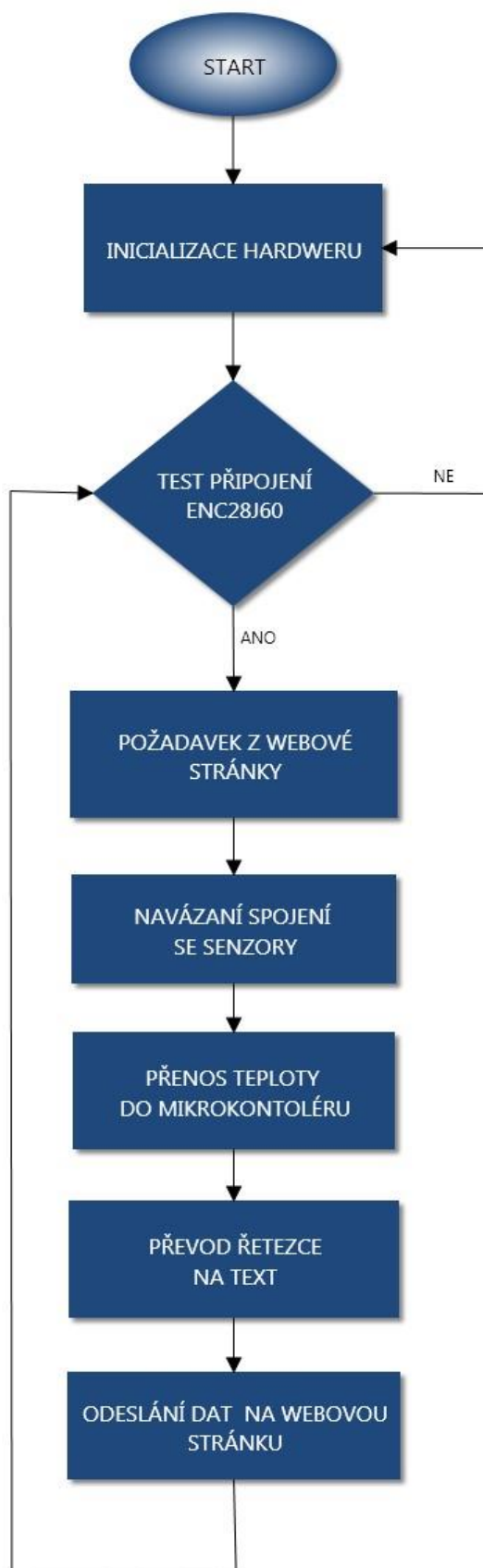
Návrh elektrického schématu a desky plošných spojů byl vytvořen v programu EAGLE 5.11.0. viz přílohy.

5 Programová část

Program byl vytvořen ve vývojovém prostředí BascomAVR 1.11.9.5. Toto vývojové prostředí bylo vymyšleno Markem Albertsenem v roce 1995. Vývojové prostředí BascomAVR umožňuje napsat program pro jednočipové mikropočítače a mikrokontroléry. Program vyrábí firma MCS electronics. [14]

Program je navržen jako webový server, který čeká na klientovo přihlášení. Po přihlášení se začnou provádět požadované operace. Všechny funkce jsou součástí jednoho programu. Program by se dal popsat následujícím vývojovým diagramem, který je znázorněn na obrázku 21.

Na začátku programu se načítá definiční soubor (enc28j60.inc) pro ethernetový komunikátor. Načítá se knihovna funkcí pro TCP/IP (tcpip.lbx), ve kterém jsou předpřipraveny funkce pro protokol TCP, UDP. Deklarují se globální proměnné a podprogramy. V dalším kroku se nastavuje MAC a IP adresa. Konfiguruje se ethernetový modul.



Obrázek 21: Vývojový diagram vytvořeného programu (vlastní zpracování)

Podprogram zajišťuje komunikaci mezi mikrokontrolérem a teplotním čidlem DS1820 po sběrnici 1-Wire. Program začíná posláním resetovacího pulsu z mikrokontroléru na čidlo. Následuje příkaz `1wwrite &HCC , 1 , Pind , I`, který slouží k ignorování jedinečného identifikačního čísla ROM paměti. Toto identifikační číslo je jedinečné pro každé čidlo DS1820. Vzhledem k tomu, že toto číslo nepotřebujeme znát, je zbytečné ho zjišťovat.

Ukázka programu, který obsluhuje 1-WIRE komunikaci odečtení hodnoty ze snímače teploty a převedení této hodnoty na číslo.

Sub Temper(i As Byte)

```
    1wreset Pind , I
    1wwrite &HCC , 1 , Pind , I
    1wwrite &H44 , 1 , Pind , I
    1wreset Pind , I

    1wwrite &HCC , 1 , Pind , I
    1wwrite &HBE , 1 , Pind , I

    Lsb = 1wread(1 , Pind , I):
    Msb = 1wread(1 , Pind , I):

    Tempa = Msb * 256
    Tempa = Tempa + Lsb
    Tempa = Tempa / 16
    If Tempa > 128 Then
        Tempa = 4095.9375 - Tempa
        M = 1
    Else
        M = 0
    End If
    Tekst1 = Fusing(tempa , "#.##")
    If Tempa < 10 Then Tekst1 = " " + Tekst1
    If M = 1 Then
        Print "T =-" ; Tekst1 ; " st. C "
        Msg_temp = "-"
    Else
        Print "T =+" ; Tekst1 ; " st. C "
        Msg_temp = "+"
    End If
```

```

End If
If Tempa = 0 Then
    Msg_temp = Msg_temp + "00.00 &deg;C"
Else
    Msg_temp = Msg_temp + Tekst1
    Msg_temp = Msg_temp + " &deg;C"
End If

```

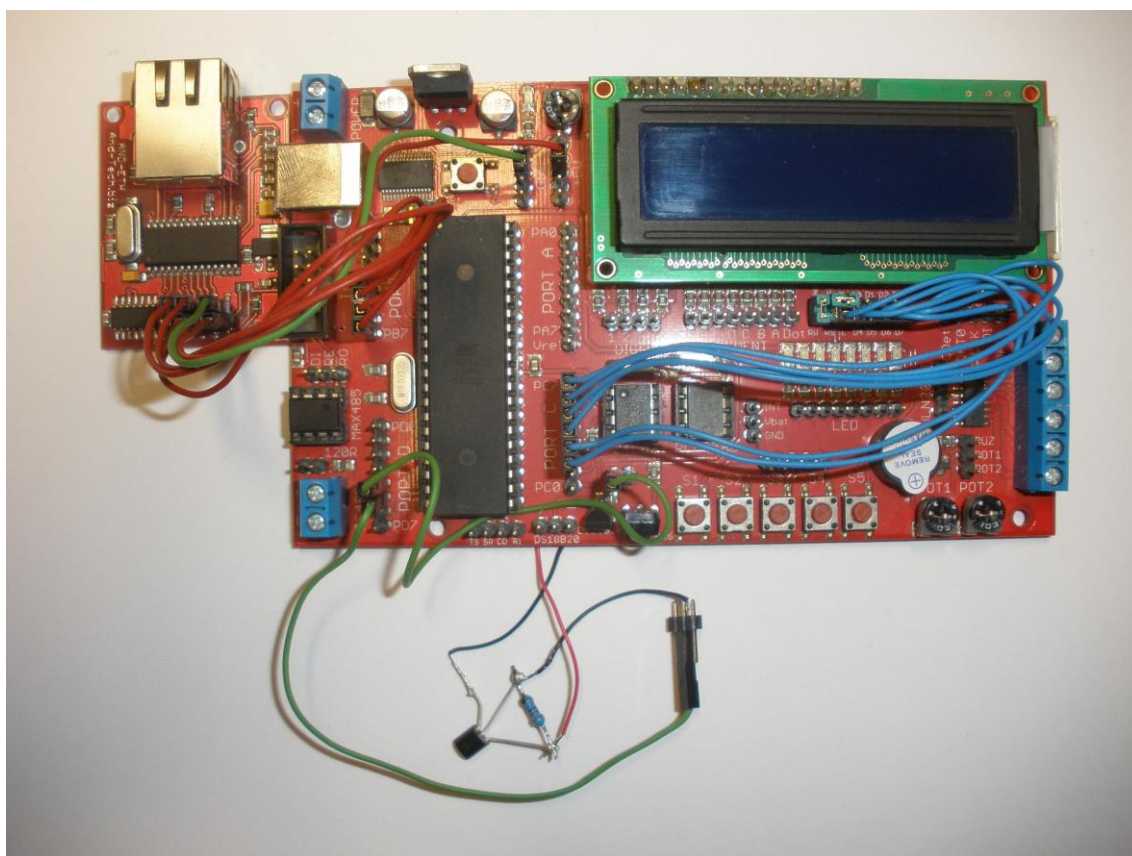
```

End Sub

```

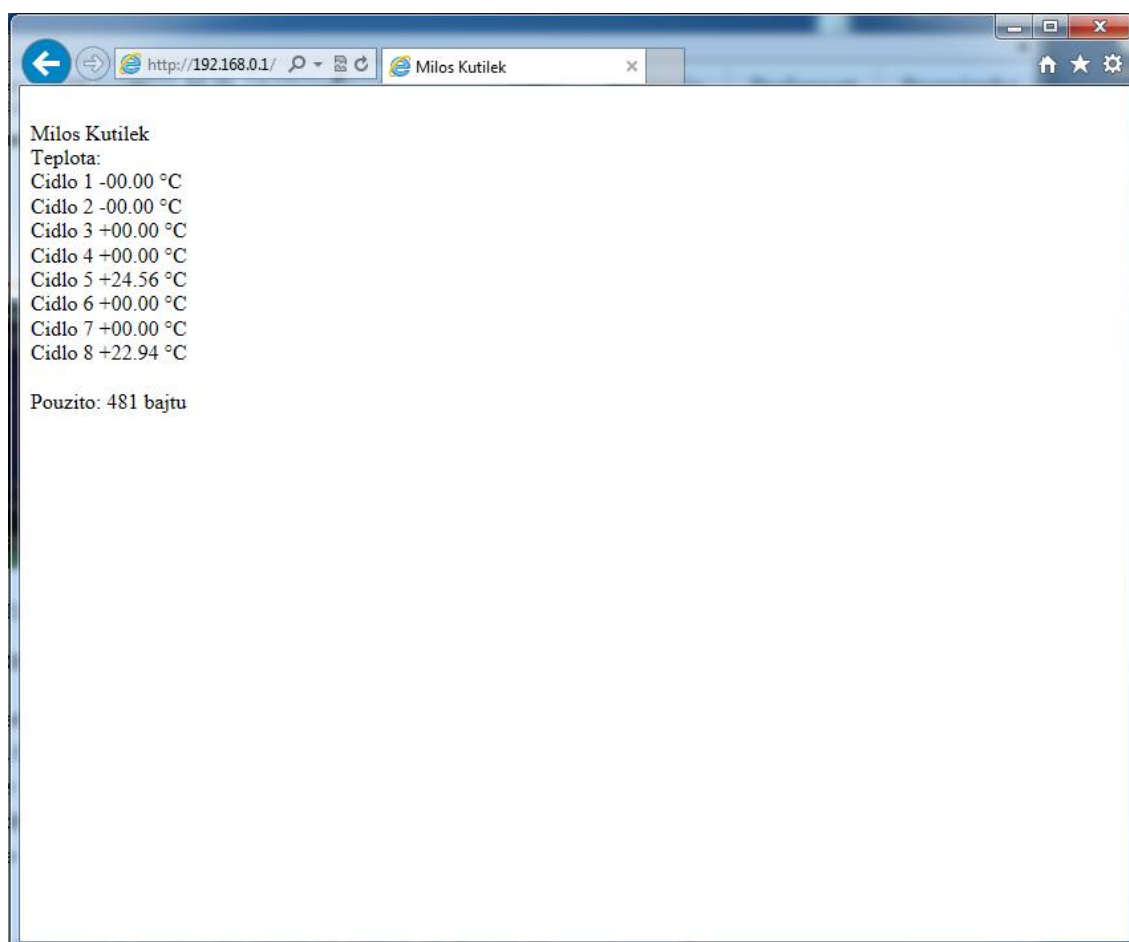
5.1 Realizace přenosu

Vytvořený program byl otestován na vývojovém kitu AVR EvB 4.3. Tento kit je vyráběn firmou AND-TECH a je znázorněn na obrázku 22. Pro spojení ethernetového modulu a počítače byl použit křížený ethernetový kabel. IP adresa je nastavena na hodnotu 192.168.0.1. Pro zobrazení jsem používal webový prohlížeč Internet Explorer. Je vhodné zakázat prohlížeči použití http 1. 1, nastavit prohlížeč bez zabezpečení nebo zahrnout IP adresu mezi důvěryhodné servery.



Obrázek 22: Vývojový kit AVR EvB 4.3 (vlastní zpracování)

Program vypisuje změřené hodnoty z připojených digitálních teplotních čidel. K mikrokontroléru je možno připojit až 8 čidel, které se připojují k portu D. Jestliže je čidlo připojeno, zobrazí se jeho hodnota, v opačném případě je zobrazena hodnota 00.00. Pomocí jazyku HTML (Hyper Text Markup Language) je naprogramována webová stránka. Dále se na stránce zobrazuje počet bajtu, které program využívá. Realizace přenosu informací přes Ethernet je vidět z obrázku 23.



Obrázek 23: Webová stránka pro zobrazení teploty (vlastní zpracování)

Závěr

V této diplomové práci byla vytvořena literární rešerše na téma Ethernet a byl popsán model TCP/IP. Bylo vytvořeno blokové schéma zapojení podle zadání a byly vybrány vhodné hardwarové komponenty. Mikrokontrolér od firmy Atmel Atmega32 PU, jehož největší výhodou je velké množství periférií. Jako komunikační modul byl zvolen ethernetový komunikátor ENC28J60 od firmy Microchip. Zdroj napájení je realizován pomocí Power over Ethernet. To je výhodné, protože je potřeba pouze jeden přívodní kabel a to ethernetový kabel (CAT-5).

Podle navrženého blokového schématu bylo vytvořeno elektrické schéma zapojení. Jednotlivé části jsou popsány v kapitole 4. Hlavní částí je mikrokontrolér, který řídí všechny periferie, jako je digitální teplotní čidlo DS1820, ethernetový komunikátor ENC28J60. Jednotlivé součástky v návrhu byly voleny podle předem stanovených parametrů. Hodnoty těchto součástek byly voleny dle doporučení výrobců. Celkové vytvořené elektrické schéma a rozpiska součástek je přiložena v příloze.

Dalším úkolem práce bylo vytvoření programu v prostředí BascomAVR a realizování přenosu teploty přes síť typu Ethernet. Vytvořený program je uložen v mikrokontroléru. Je vytvořen tak, aby přenášel data až z 8 digitálních čidel teploty. Je na uživateli, kolik čidel k mikrokontroléru připojí. Program otestuje, zda je čidlo připojeno, jestliže je připojeno, je změřena a odeslána hodnota teploty. Pomocí programu probíhá komunikace mezi mikrokontrolérem a ethernetovým modulem, který má definovanou MAC adresu a přidělenou IP adresu. Program vytváří jednoduché webové stránky, na které jsou odesílány jednotlivé hodnoty z digitálních teplotních čidel DS1820.

Tento vytvořený program byl otestován na vývojovém kitu, který mi byl zapůjčen od mého vedoucího diplomové práce. Přenos byl realizován a komunikace funguje.

Celkově lze shrnout, že bylo navrženo blokové a elektrické schéma pro realizaci přenosu teploty přes Ethernet. Následně byl vytvořen a odzkoušen program, který je uložen v mikrokontroléru. Nad rámec zadání byla vytvořena deska plošných spojů a osazení součástek na desce.

Seznam použitých zdrojů

- [1] KLAŠKA, L. *Z historie Ethernetu*. [online]. 1999 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.svetsiti.cz/clanek.asp?cid=Z-historie-Ethernetu-991999>
- [2] SATRAPA, P. Lupa.cz : *Jak přišel na svět Ethernet* [online]. 2002 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.lupa.cz/clanky/jak-prisel-na-svet-ethernet/>
- [3] LAMMLE, T. *CCNA : Výukový průvodce přípravou na zkoušku 640-802*. Vyd. 1. Brno : Computer Press a. s., 2010. 928 s. ISBN 978-80-251-2359-1.
- [4] MICROSOFT, Microsoft.com : *Model protokolu TCP/IP* [online]. 2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: [http://technet.microsoft.com/cs-cz/library/cc786900\(v=ws.10\).aspx](http://technet.microsoft.com/cs-cz/library/cc786900(v=ws.10).aspx)
- [5] *TCP/IP - model, encapsulace, paket vs. rámec*. [online]. 2007 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.samuraj-cz.com/clanek/tcpip-model-encapsulace-paketu-vs-ramec/>
- [6] ATMEL. *Atmega32* [online]. USA : ATMEL, 2011. 346 s. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc2503.pdf>
- [7] MATOUŠEK, D. *Práce s mikrokontrolery Atmel Atmega16*. 4. Díl 1. vydání. Praha: BEN – Technická literatura, 2006. 320s ISBN 80- 7300-174-8.
- [8] MICROCHIP. *ENC28J60 Stand-Alone Ethernet Controllerr with SPI Interface*. Dostupné z: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39662b.pdf>
- [9] LEE, P. Computing & Control Engineering: *The ability to provide power over Ethernet is crucial to the adoption of the communication protocol*. UK: December, 2007.
- [10] MRÁZEK, O. *Princip činnosti Power Over Ethernet*. [online]. 2004 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/produkty/ethernet/princip-cinnosti-power-over-ethernet.html>

- [11] DALLAS SEMICONDUCTOR. *DS1820 1-Wire Digital Thermometer Data Sheet* [online]. 1995 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z:
<http://www.systronix.com/Resource/ds1820.pdf>
- [12] MALÝ, M. *Sběrnice 1-WIRE* [online]. 2012 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z:
<http://www.hw.cz/navrh-obvodu/rozhrani/sbernice-1-wiretm.html>
- [13] TEXAS INSTRUMENTS. *LM2574/LM2574HV SIMPLE SWITCHER™ 0.5A Step-Down Voltage Regulator*. [online]. 2003 [cit. 2013-05-03]. Dostupné z:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2574.pdf>
- [14] VAŇA, V. *Mikrokontroléry ATMEL AVR programování v jazyce Bascom*. 1. vydání. Praha: BEN – Technická literatura, 2004. 143s ISBN 80- 7300-115-2.

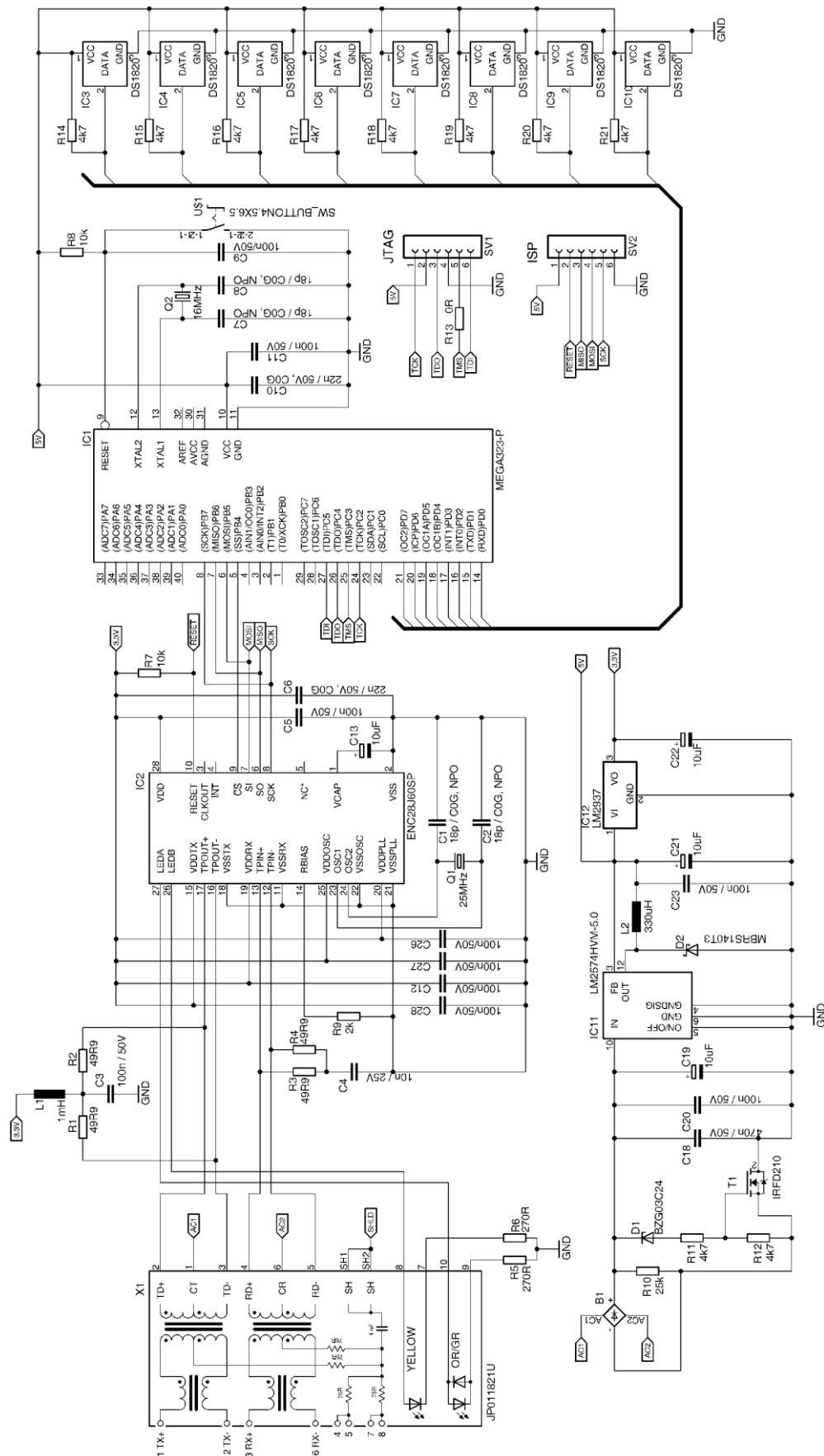
Seznam použitých zkratek

CS	Carrier Sense
MA	Multiple Access
CD	Collision Detect
MAC	Media Access Control
SFD	Start Frame Delimiter
DA	Destination Address
SA	Source Address
FCS	Frame Check Sequence
BNC	British Naval Connector
RJ	Register Jack
OSI	Open Systems Interconnection
ISO	International Standards Organization
TCP	Transmission Control Protocol
CRC	Cyclic redundancy check
CWR	Congestion Window Reduced
PSH	Push
RST	Reset
SYN	Synchronize
UDP	User Datagram Protocol
RISC	Reduced Instruction Set Controllers
SPI	Serial Peripheral Interface
PSE	Power sourcing Equipment
PoE	Power over Ethernet
PD	Power Device
MPS	Maintain Power Signature

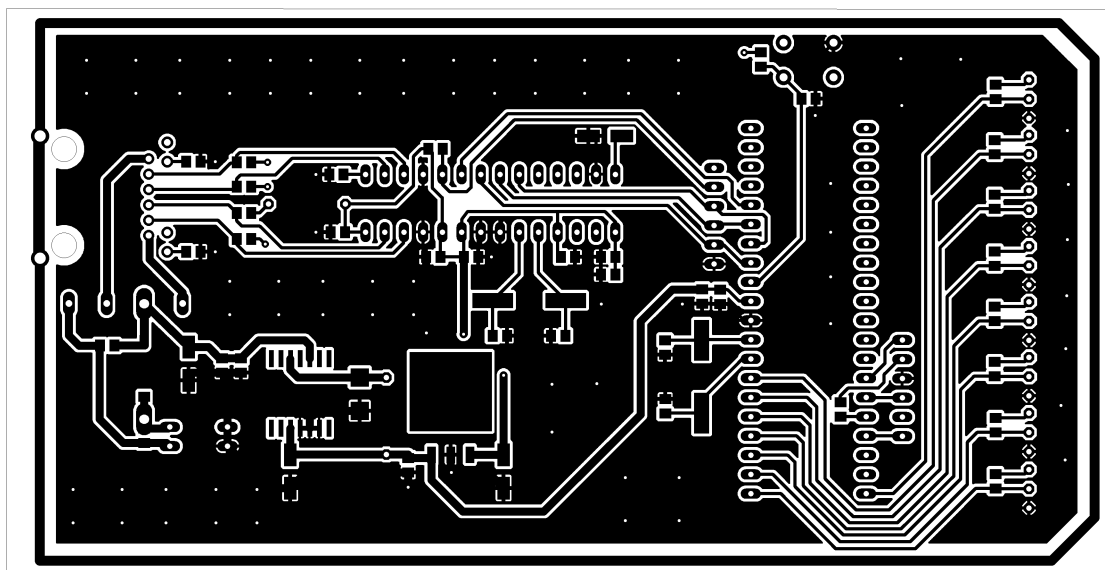
Seznam příloh

- A. Schéma elektrického zapojení
- B. Deska plošného spoje – strana Top
- C. Deska plošného spoje – strana Bottom
- D. Osazení součástek na desce – strana Top
- E. Osazení součástek na desce – strana Bottom
- F. Rozpiska součástek
- G. Obsah přiloženého CD

A. Schéma elektrického zapojení

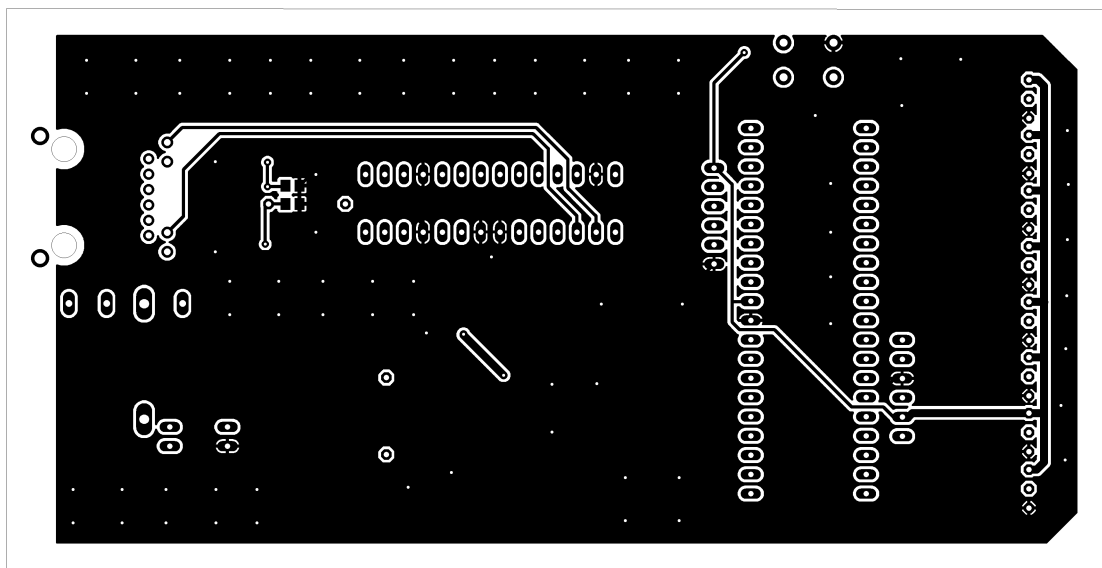


B. Deska plošného spoje – strana Top



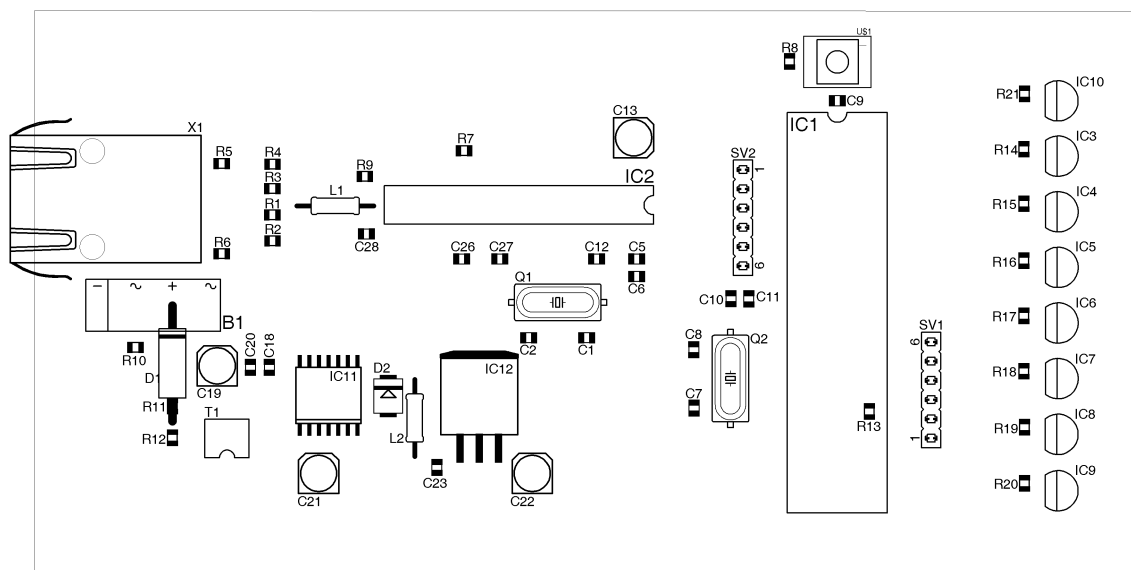
Rozměry desky 146,4 x 74,7 [mm]

C. Deska plošného spoje – strana Bottom

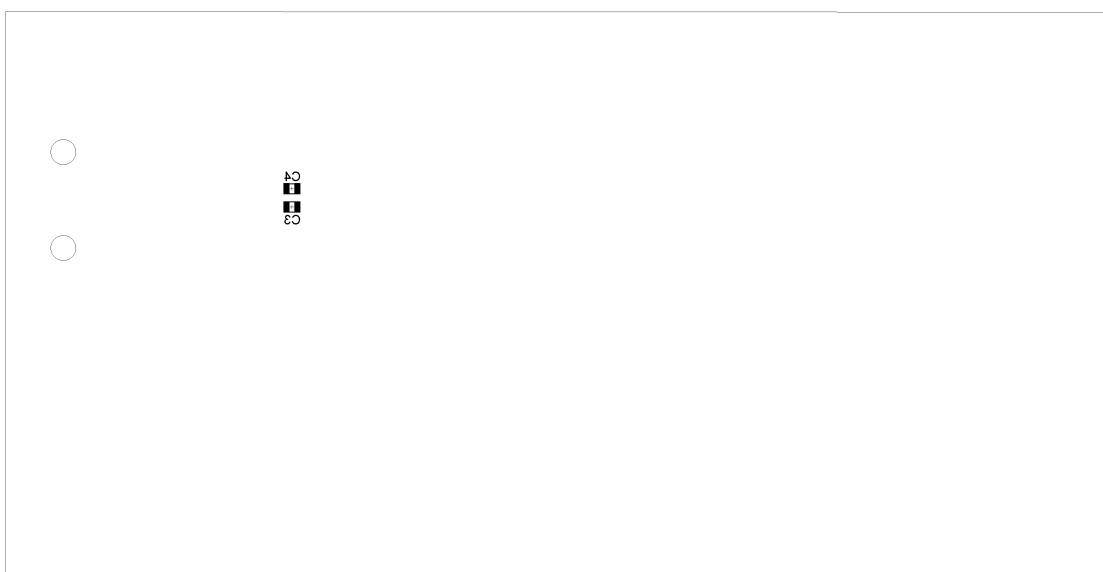


Rozměry desky 146,4 x 74,7 [mm]

D. Osazení součástek na desce – strana Top



E. Osazení součástek na desce – strana Bottom



F. Rozpiska součástek

Name	Value/Type	Device	Package Eagle
B1		2KBB	2KBB
C1, C2, C7, C8	18p / C0G, NPO	C-EUC0805	C0805
C3, C5, C9, C11, C12	100n / 50V	C-EUC0805	C0805
C4	10n / \25V	C-EUC0805	C0805
C6, C10	22n / 50V, C0G	C-EUC0805	C0805
C13, C19, C21, C22	10uF	CPOL-EU153CLV-0505	153CLV-0505
C18	470n / 50V	C-EUC0805	C0805
C20, C23, C26 až C28	100n / 50V	C-EUC0805	C0805
D1	BZG03C24	ZENER-DIODEC1702-15	C1702-15
D2	MBRS140T3	SCHOTTKY-DIODESMD	SMB
IC1	MEGA323-P	MEGA323-P	DIL40
IC2	ENC28J60SP	ENC28J60SP	DIL28-3
IC3 až IC10	DS1820	DS1820	TO92-
IC11	LM2574HVM-5.0	LM2574HVM-5.0	SO14W
IC12	LM2937	LM2937	TO263-3
L1	1mH	L-EU0207/10	0207/10
L2	330uH	L-EU0207/10	0207/10
Q1	25MHz	CRYSTALHC49UP	HC49UP
Q2	16MHz	CRYSTALHC49UP	HC49UP
R1 až R4	49R9	R-EU_R0805	R0805
R5, R6	270R	R-EU_R0805	R0805
R7, R8	10k	R-EU_R0805	R0805
R9	2k	R-EU_R0805	R0805
R10	25k	R-EU_R0805	R0805
R11, R12, R14 až R21	4k7	R-EU_R0805	R0805
R13	0R	R-EU_R0805	R0805
SV1, SV2		FE06-1	FE06
T1	IRFD210	IRFD120	DIL04
U\$1	SW_BUTTON4.5X6.5	SW_BUTTON4.5X6.5	SW_BUTTON
X1	JP011821U	JP011821U	JP

G. Obsah přiloženého CD

- Vytvořené schéma a deska plošných spojů v programu EAGLE 5.11.0
- Program pro přenos teploty přes Ethernet v prostředí BascomAVR
- Elektronická verze diplomové práce v PDF